



Escola Tècnica Superior d'Enginyers
de Camins, Canals i Ports de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROJECTE O TESINA D'ESPECIALITAT

Títol

**MONITOREO Y ANÁLISIS DE CORRIENTES DE
DERRUBIOS Y SUS LLUVIAS
DESENCADENANTES EN EL PIRINEO
ORIENTAL**

708-TES-CA-4576

Autor/a

Yair Marc Martínez Palomino

Tutor/a

Marcel Hürlimann Ziegler

Departament

Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica

Data

Juny de 2010

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	- 7 -
1.1 INTRODUCCIÓN DE LA TESINA.....	- 7 -
1.2 CONCEPTO DE CORRIENTE DE DERRUBIOS	- 7 -
1.3 OBJETIVOS DE LA TESINA.....	- 10 -
1.4 BARRANCOS INSTRUMENTADOS.....	- 11 -
1.4.1 barranco de ensija.....	- 12 -
1.4.2 barranco de senet.....	- 14 -
2. CONCEPTOS GENERALES E INSTRUMENTACIÓN.....	- 17 -
2.1 GEÓFONOS.....	- 17 -
2.1.1 Introducción.....	- 17 -
2.1.2 Tipos de geófonos	- 18 -
2.2 ULTRASONIDOS	- 19 -
2.3 ESTACIÓN METEOROLÓGICA.....	- 20 -
2.3.1 componentes.....	- 21 -
2.3.1.1 Pluviómetro	- 21 -
2.3.1.2 Termómetro	- 22 -
2.3.2 montaje final.....	- 23 -
2.4 DATA LOGGER.....	- 23 -
2.4.1 Introducción.....	- 23 -
2.4.2 Modelos adquiridos	- 24 -
2.5 Transmisión y MODEM.....	- 25 -
3. METODOLOGÍA Y RESULTADOS DE CALIBRACIÓN	- 26 -
3.1 PREPARACIÓN Y CALIBRACIÓN PRELIMINAR SENSORES, DATA LOGGER ETC. EN UPC	- 26 -
3.2 ESTACIÓN METEOROLÓGICA.....	- 27 -
3.2.1 Preparación del material.....	- 27 -
3.2.2 Calibración	- 28 -
3.3 TRANSMISIÓN DE DATOS CONEXIÓN GSM.....	- 29 -
3.4 DATA LOGGERS.....	- 30 -
3.5 ULTRASONIDOS	- 32 -
3.5.1 Preparación previa.....	- 32 -
3.5.2 Calibración I.....	- 32 -
3.5.3 Calibración II.....	- 33 -
3.5.3.1 Introducción.....	- 33 -
3.5.3.2. Compensación de la temperatura	- 37 -
3.5.3.3 Cono de lectura del ultrasonidos	- 40 -
3.5.3.4 Lecturas del ultrasonido	- 43 -
3.5.3.5 Tiempo de espera de inicialización del ultrasonido	- 44 -
3.5.4 Conclusiones sobre las correcciones.	- 44 -
3.5.5 Calibración recta tensión-intensidad distancia.	- 45 -
3.6 GEÓFONOS.....	- 46 -
3.6.1 Preparación previa.....	- 46 -
3.6.2 Electrónica.....	- 47 -
3.6.3 Calibración	- 48 -
3.7 OTRO MATERIAL.....	- 49 -
3.8 COMPROVACIÓN DE LA INSTALACIÓN EN EL LABORATORIO	- 50 -

4. INSTALACIÓN EN EL CAMPO.....	- 51 -
4.1 DECISIÓN DE LA COLOCACIÓN DEL MATERIAL	- 51 -
4.1.1 Esquema general de la instalación.....	- 51 -
4.1.2 Circuito de la estación meteorológica	- 52 -
4.1.3 Circuito de los geófonos y ultrasonido.....	- 52 -
4.2 CALIBRACIÓN Y COMPROBACIÓN EN EL CAMPO	- 54 -
4.2.1 Estación meteorológica	- 55 -
4.2.2 Data logger	- 56 -
4.2.3 Ultrasonidos.....	- 57 -
4.2.3.1 problemática en campo.....	- 58 -
4.2.4 geófonos	- 60 -
4.2.4.1 Problemática en campo	- 62 -
4.2.4.1.1 Interferencias debidas a la lluvia.....	- 62 -
4.2.4.1.2 Excesiva amortiguación del la vibración.....	- 65 -
5. ANÁLISIS Y COMPROBACIÓN DE DATOS PRELIMINARES	- 66 -
5.1 INTRODUCCIÓN Y PROBLEMÁTICA.....	- 66 -
5.2 DEBRIS FLOW EN EL BARRANCO DE SENET	- 67 -
5.3 DEBRIS FLOW EN ENSIJA	- 68 -
5.4 CONCLUSIÓN RESPETO LOS DATOS PRELIMINARES	- 72 -
6. ESTUDIO DE LAS LLUVIAS	- 73 -
6.1 DEFINICIÓN DE TORMENTA.....	- 73 -
6.2 VARIABLES A DESTACAR DE CADA TORMENTA.....	- 74 -
6.3 LÍNEA UMBRAL DE LLUVIA GENERADORA DE UNA CORRIENTE DE DERRUBIOS.	- 75 -
7. ESTUDIO DE LAS LLUVIAS Y CORRIENTES DE DERRUBIOS EN EL PIRINEO ORIENTAL TEMPORADA JULIO-DICIEMBRE 2009.....	- 77 -
7.1 RESUMEN DE EVENTOS Y LLUVIAS	- 77 -
7.2 ESTUDIO GRÁFICO	- 81 -
7.2.1 Comparación de las lluvias del Pirineo Oriental con otros estudios	- 81 -
7.2.2 Gráficos Intensidad media y máxima de la tormenta vs. Duración.....	- 83 -
7.2.3 Gráfico duración lluvia vs. Precipitación total	- 84 -
7.2.4 Gráfico intensidad máxima vs. Intensidad media.	- 85 -
7.2.5 Gráficos en función de la lluvia antecedente.....	- 86 -
7.2.6 Curvas umbral-zona umbral establecida para el Pirineo Oriental.....	- 88 -
7.3 ESTUDIO DETALLADO DE LOS EVENTOS.....	- 90 -
7.3.1 Evento en Ensija el día 06/07/2009 a las 7:55.....	- 90 -
7.3.2 Evento en Senet el día 07/08/2009 a las 12:10	- 92 -
7.3.3 Posible evento en Senet del día 01/09/2009 a las 17:15 h.....	- 94 -
7.3.4 Posible evento del 06/08/2009 a las 23:45 h	- 96 -
7.4 RESULTADO DE EVENTO DEBIDO AL DESHIELO	- 98 -
7.4.1 Análisis de las condiciones climatológicas del evento.....	- 99 -
7.5 RESULTADO DE APLICACIÓN	- 105 -
8. CONCLUSIONES.....	- 106 -
9. SUGERENCIAS E IDEAS	- 107 -
10. BIBLIOGRAFÍA	- 108 -
11. AGRADECIMIENTOS.....	- 110 -
12. AUTOR DE LA TESINA	- 111 -

1. INTRODUCCIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN DE LA TESINA

La siguiente tesina forma parte del proyecto DEBRIS-CATCH de mayor envergadura y duración.

El objetivo principal del proyecto es la evaluación de la peligrosidad de las corrientes de derrubios. El proyecto se realiza con una metodología multidisciplinar incluyendo trabajo de campo, instrumentación de cuencas con diversos sensores, análisis de datos espaciales mediante SIG, simulación de la movilidad de corrientes con modelos numéricos, etc.

Esta tesina se centrará en la instrumentación de la cuenca, la instalación y calibración de los diferentes sensores y un análisis de causas generadoras de corrientes de derrubios.

1.2 CONCEPTO DE CORRIENTE DE DERRUBIOS

Se conoce como corriente de derrubios, o en ingles “debris flow”, a un flujo rápido y violento de terreno no consolidado que tiene efectos devastadores en términos materiales, económicos, medioambientales y, lo que es más importante, la posible pérdida de vidas humanas.

La formación de estos procesos geológicos se originan básicamente a partir de las lluvias de alta intensidad y larga duración, así como por el deshielo o una combinación de ambos, asociado a una determinada orografía del terreno marcada por grandes pendientes y por la presencia de materiales sueltos no consolidados.

Estos tipos de corrientes pueden contener un amplio rango de tamaños de partículas, desde arcillas y limos, hasta gravas, clastos y grandes bloques de algunos metros de diámetro. Todo ello mezclado con agua de la lluvia y materia orgánica tal como troncos de árboles, vegetación, etc. la cual ha sido arrastrada por la corriente. Su aspecto recuerda al fluir del hormigón fresco.

También se les conoce como lavas de detritos, el caudal sólido cuando estas avanzan puede superar el 40%. Es decir, que por cada metro cúbico de agua tendríamos de 0.4 metros cúbicos de roca. Si nos referimos al peso considerando una densidad de partículas sólidas razonable de $2,65 \text{ T/m}^3$; por cada tonelada de agua tendremos 1.1 tonelada de material sólido. Propiedad que hace que estas corrientes dispongan de una elevada energía y un gran poder de destrucción.



Ilustración 1: Restos de un debris flow. Se observan varios tamaños de partículas así como restos de vegetación.

Cabe añadir que el comportamiento de estos tipos de flujos con la composición citada anteriormente es de tipo no newtoniano, es decir, la viscosidad del fluido varía con la temperatura y presión, pero no con la variación dv/dy , esta característica dificulta aún más el estudio de este fenómeno geológico.

Aunque la frecuencia de las corrientes de derrubios es baja y los lugares de típica formación se encuentran alejados de núcleos urbanos, no cabe descartar que estos fenómenos también puedan afectar al hombre con fatales consecuencias. En la actualidad

no existe ningún plan de actuación ni medidas de prevención para evitar daños en el caso de producirse en áreas habitadas o frecuentadas por el ser humano.

En la siguiente imagen se puede observar como uno de estos fenómenos puede afectar de una forma drástica al hombre y porque es importante intentar preverlo y cuantificar su posible magnitud.



Ilustración 2: Posibles daños ocasionados por un debris flow a una población. (Google Images)

Se han realizado hasta ahora muy pocos estudios sobre estas corrientes. Los más importantes se han efectuado en Japón, California y en los Alpes. Con este proyecto se estudiarán 2 cuencas torrenciales del Pirineo Oriental donde este fenómeno se presenta con bastante frecuencia.

Estas son algunas de las referencias de estudios previos en los Alpes italianos, suizos y dispositivos para el monitoreo estudiados en Japón:

1.3 OBJETIVOS DE LA TESINA

El estudio de esta tesina se efectúa para poder encarar-se en futuros estudios a otros dos objetivos primordiales con la mayor facilidad posible que son:

- a) Análisis de las condiciones de formación de corrientes de derrubios y de avenidas torrenciales en diferentes cuencas, lo que también incluye la determinación de la curva de intensidad-duración de la lluvia necesaria para desencadenar estas corrientes.
- b) Instalación de sensores capaces de poder obtener datos para un posterior estudio cinemática y dinámico de una corriente de derrubios.

Para poder llevar a cabo estos objetivos se realizará un monitoreo de dos barrancos situados en el Pirineo Oriental. Gran parte de la presente tesina se centra en la realización de forma correcta del monitoreo para corrientes de derrubios con el objetivo de facilitar a investigaciones posteriores, y se completará con estudios de los datos obtenidos en el periodo que el estudiante ha estado realizando el trabajo.

La localización de dichos barrancos es en la sierra d'Ensija, mas concretamente al lado de la fuente de Aiguafreda, en las cercanías del Pedraforca y en Senet, en la Vall d'Aran.

El monitoreo consiste en la instalación de varios sensores, los cuales se explicaran posteriormente, para la determinación de las variables citadas en el apartado a), También se realizará un control a distancia de estos sensores vía MODEM.

Gracias a los monitoreos los corrientes de derrubios dejan constancia y no solo en forma de destrucción si no como variables medidas por los sensores considerados más adecuados para el posterior estudio de análisis y prevención de este fenómeno.

Para poder realizar en otros proyectos futuros monitoreos en distintos barrancos, en este proyecto se analizara cada sensor así como su calibración, conexiones, etc. con el objetivo

de facilitar dicha tarea y agilizar el proceso de la instalación del monitoreo a próximos investigadores.

A grandes rasgos la localización de los dos barrancos a instrumentar es la siguiente:



Ilustración 3: localización de los barrancos de Senet y Ensija

1.4 BARRANCOS INSTRUMENTADOS

Se han realizado estudios previos para determinar la elección de los barrancos a instrumentar.

La elección de los barrancos se ha hecho mediante la interpretación de fotografías aéreas de diferentes años y escalas y la cartografía de las cuencas de estudio, así como utilizando SIG (Sistemas de Información Geográfica). También se requieren unas condiciones para los lugares de instalación tales como:

-Cuencas donde haya una gran frecuencia de corrientes de derrubios para que dentro de la durada del proyecto se sea capaz de medir algún evento.

-Accesibilidad relativamente buena ya que para la instalación se deberá cargar con rollos de cables de elevado de peso, así como mucho material, herramientas, generador de corriente alterna, etc.

-Cobertura de red GSM para la transmisión de datos vía MODEM.

Después de analizar varias cuencas del pirineo oriental, se acordó que las más apropiadas a las necesidades citadas para el proyecto son la cuenca del torrente de Ensija y la cuenca de Senet.

1.4.1 barranco de ensija

Se encuentra situado en la comarca del Berguedà, justamente en la sierra de Ensija, la cual se incluye en el (PEIN), Plan de Espacios de Interés Natural de la Generalitat de Catalunya.

El substrato rocoso esta compuesto de rocas calizas, conglomerados y lutitas, la formación superficial es coluvión, es decir; material detrítico transportado y depositado de forma transitoria o permanentemente por una corriente de agua. Esta zona se encontraba debajo del mar hace millones de años, se puede corroborar ya que se han visto fósiles marinos en las rocas del lugar. Es importante añadir que el coluvión es un material no consolidado, por tanto propicio a la formación de corrientes de derrubios.

La cuenca de Ensija tiene un área de unos 0.8 km² y tiene una orientación norte. Como se puede ver en la siguiente imagen conseguida a través de Google Earth, se tiene un debris flow formado por un canal principal con varios afluentes de otros debris que acaban en el dicho canal, su morfología se puede asociar a un río con afluentes. Al final del canal principal se aprecia el abanico o cono de deyección.

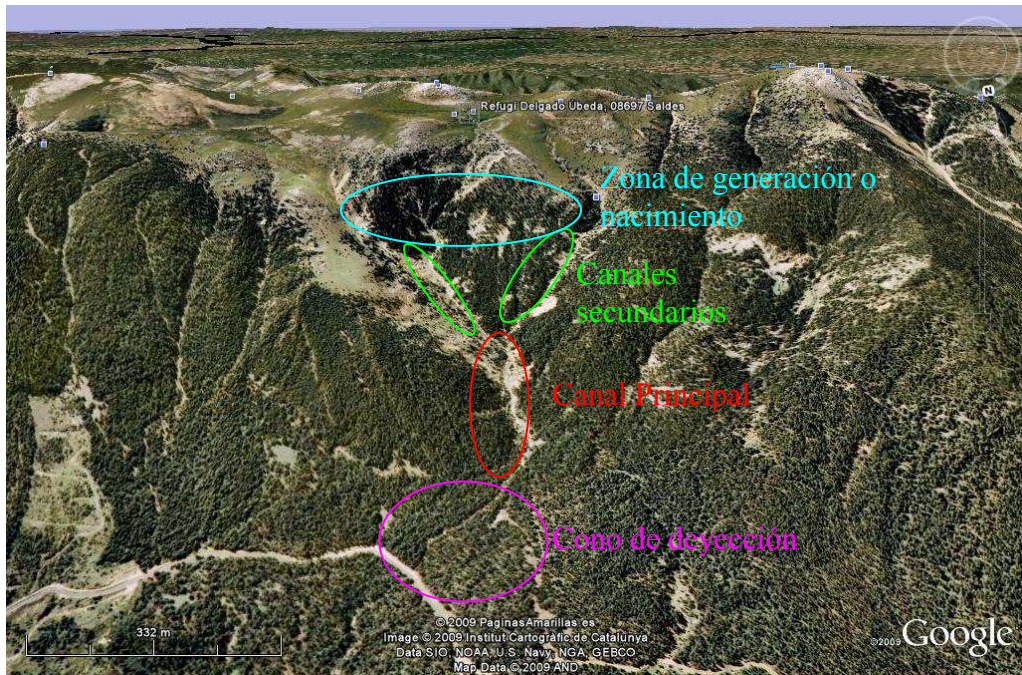


Ilustración 4: Barranco de Ensija. Google Earth.

El aspecto del canal principal de deyección es el siguiente:



Ilustración 5: Fotografía del barranco de Ensija. La pequeña caja gris de la imagen es el contenedor del ultrasonido.

Se puede observar vegetación a ambos lados del canal principal, esta consta de pinos los cuales tienen entre 10 y 20 años de edad. En cambio por el canal hay muy poca vegetación, o vegetación que como mucho tendrá 1 o 2 años. Esto es señal de la actividad de esta corriente de derrubios, de la cual se conocen replicas en años anteriores no muy lejanos en el tiempo.

1.4.2 barranco de senet

Se encuentra en la comarca de la Alta Ribagorça, cerca del municipio de Senet, el cual es una entidad municipal descentralizada del municipio principal de Vilaller. Cerca del río Noguera Ribagorçana.

La cuenca tiene una área aproximada de 0.7 km², orientación Oeste, substrato rocoso de pizarras, filitas y granito con una formación superficial de till glacial.

El till es un tipo de depósito formado por los glaciares. Cuando estos avanzan, van depositando materiales en los laterales o en el frente. Estos depósitos se caracterizan por ser no consolidados.

Se puede apreciar en la siguiente imagen obtenida por Google Earth, la forma de U del valle, lo cual indica que en el cuaternario había un glaciar. Éste, a medida que avanzaba arrastraba materiales y los iba depositando en los laterales y en el frente del glaciar, formando los till o morrenas.

Con el tiempo el glaciar se derritió quedando sobreconsolidadas las zonas que habían estado debajo del hielo debido a las grandes presiones que ejercía el peso del glaciar. En cambio quedaban los depósitos glaciales formados de material no consolidado y propicio a la formación de corrientes de derrubio, como es el caso del barranco de estudio en Senet.



Ilustración 6: Valle glacial y situación del barranco de estudio

En el barranco de Senet se aprecia muy bien la morfología del debris. El nacimiento del corriente de derrubios, el canal principal y el cono de deyección.

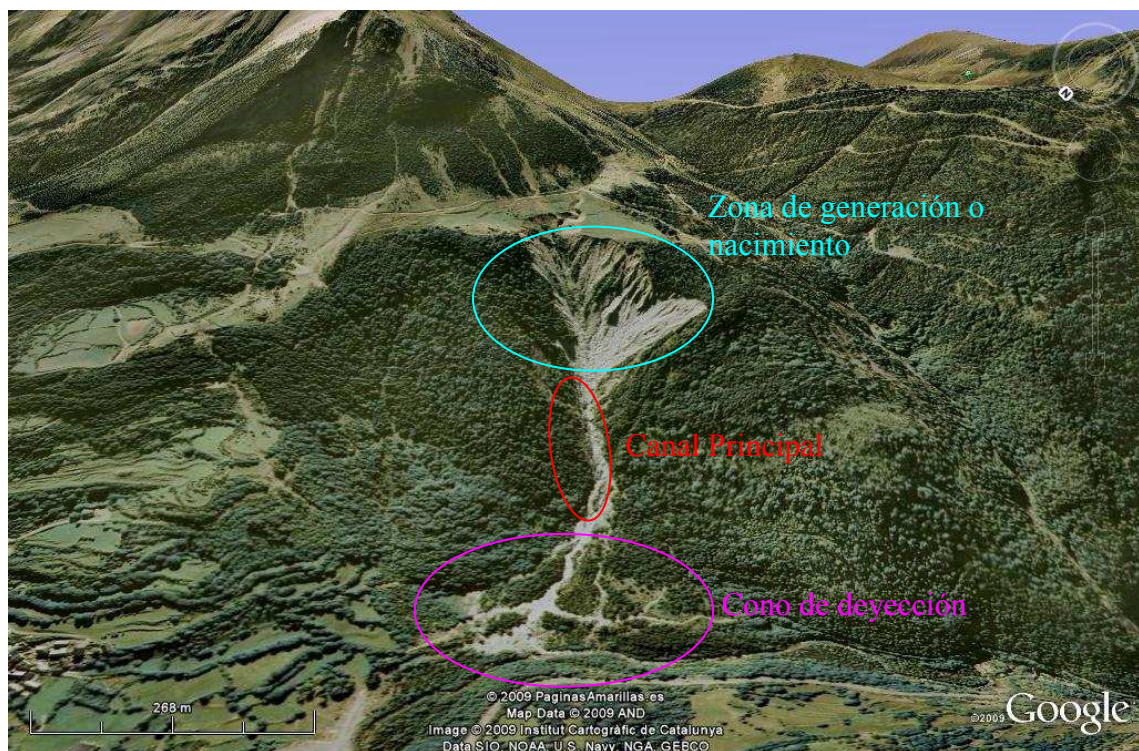


Ilustración 7: Barranco de Senet

A continuación una fotografía del barranco de Senet:



Ilustración 8: Barranco de Senet. Realizando la instalación del equipo. Vista del canal principal aguas abajo.

Observamos las mismas características en cuanto a vegetación se refiere que en el barranco de Ensija. A diferencia, este debris tiene una pendiente mayor y el material principal es granito.

2. CONCEPTOS GENERALES E INSTRUMENTACIÓN

La localización de la instrumentación de medición del debris de ambos barrancos será el canal principal, ya que es la zona de transición entre el nacimiento del corriente de derrubios y el cono de deyección, lugar en el cual se deposita. Por tanto, por el canal principal, teóricamente pasará la mayoría de material, es por ello que geófonos y ultrasonidos se situarán allí.

En cambio la estación meteorológica se situará en una parte más elevada de la cuenca para poder medir correctamente la precipitación que le llega a todo el barranco.

A continuación se procede a describir los sensores utilizados:

- Geófonos
- Ultrasonidos
- Estación meteorológica
- Data logger
- Transmisión, MODEM

2.1 GEÓFONOS

2.1.1 Introducción

Este tipo de sensor se suele utilizar para registrar el movimiento del suelo generado por una fuente energética. Esta fuente puede proceder por ejemplo de explosivos y camiones vibradores, en el caso de la prospección geofísica. O por un corriente de derrubios, en el caso de nuestro estudio.

A continuación se muestra una imagen con un hombre sosteniendo 3 geófonos, se puede apreciar que el tamaño es de unos pocos centímetros.



Ilustración 9: Geófonos

Los geófonos son transductores de desplazamiento, velocidad o aceleración que convierten el movimiento del suelo en una señal eléctrica.

Transductor se refiere a un tipo de dispositivo capaz de transformar un tipo de energía de entrada en otra diferente de salida, en el caso de un geófono:

Entrada: vibración

Salida: señal eléctrica

2.1.2 Tipos de geófonos

Básicamente existen 3 tipos de geófonos:

- **Geófonos electromagnéticos:** Son transductores de velocidad. Están constituidos por una bobina suspendida de un sistema de resortes que se mueve en un campo magnético generado por un imán permanente
- **Geófonos capacitivos:** Estos transductores proporcionan una señal proporcional al desplazamiento de la masa. Se puede construir un transductor capacitivo elemental

con dos placas paralelas alimentadas con una tensión alterna opuesta y una tercera placa, solidaria a la masa móvil, situada entre ellas.

- **Geófonos piezoeléctricos:** Los geófonos piezoeléctricos son transductores de aceleración. En este tipo de geófonos la masa del sistema descansa sobre un conjunto de placas hechas de algún material piezoeléctrico sensible a la presión tal como el cuarzo o la turmalina. Una aceleración del suelo hacia arriba aumentará el peso aparente de la masa y en consecuencia subirá la presión que actúa en los cristales piezoeléctricos. Una aceleración del suelo hacia abajo disminuirá el peso aparente de la masa y en consecuencia la presión ejercida sobre las placas. La variación de la presión induce variaciones de voltaje entre los extremos de las placas.

Para el proyecto DEBRIS-CATCH se han adquirido geófonos piezoeléctricos, ya que son los más sensibles de los tres tipos de geófonos. Concretamente se han adquirido a la casa PEPERL+FUCHS por un precio de unos 65€/unidad.

El objetivo de este tipo de sensores es determinar la velocidad de avance del frente de la corriente de derrubios.

2.2 ULTRASONIDOS

Tienen un funcionamiento similar a un radar o a un sonar, el cual evalúa atributos de un objetivo interpretando ecos de radio u ondas acústicas.

Los sensores de ultrasonidos generan ondas mecánicas acústicas de alta frecuencia y evalúan el eco que rebota desde el objeto a medir hasta el sensor. Éste calcula el intervalo de tiempo que hay desde que se emite la señal hasta que se recibe, determinando así la distancia existente desde él al objetivo.

Es el sensor más caro de la instalación, los que se han usado para las estaciones de monitoreo son de la casa PEPPERL+FUCHS con un coste de 537€/unidad, el tamaño es aproximadamente como una lata de refresco.

En la siguiente imagen se observa un ultrasonido igual al instalado en el campo. La membrana circular inferior es la que emite las ondas acústicas de alta frecuencia.



Ilustración 10: Ultrasonidos

En el proyecto se utilizará este tipo de sensor para medir el calado de la corriente de derrubios en caso de que esta se produzca.

Mientras no haya un debris, el sensor, que está colocado encima de un pequeño arroyo torrencial ira midiendo su calado.

2.3 ESTACIÓN METEOROLÓGICA

Una estación meteorológica es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios

La estación puede constar de una gran variedad de sensores tales como; termómetro, termómetro de máximas y mínimas, termómetros de subsuelo para medir la temperatura dentro del terreno, barómetro, pluviómetro, higrómetro (mide la humedad relativa del aire), veleta (para medir la dirección del viento), anemómetro (para la velocidad del viento), entre muchos otros.

Para el proyecto DEBRIS-CATCH nos interesa ciertamente medir la precipitación de lluvia, el principal desencadenante de los corrientes de derrubio. Así también se podrá obtener la curva duración de lluvia-intensidad, a partir de la cual se desencadenan los debris. Por tanto se necesita un pluviómetro para medir intensidad de precipitación.

Recordemos que los procesos de corrientes de derrubio no se producen cuando hay nieve o hielo, por tanto, cuando la temperatura es inferior a 0° C la precipitación será nieve, en lugar de agua. Nos interesa entonces un termómetro para conocer la temperatura ambiente.

2.3.1 componentes

2.3.1.1 Pluviómetro

El pluviómetro es un instrumento que se emplea en las estaciones meteorológicas para la recogida y medición de la precipitación. La cantidad de agua caída se expresa en milímetros de altura. El diseño básico de un pluviómetro consiste en un recipiente de entrada por donde el agua entra a través de un embudo hacia un colector donde el agua se recoge y puede medirse visualmente con una regla graduada o mediante el peso del agua depositada. Para medir intensidad de lluvia hay un balancín que oscila a volumen constante de agua caída, permitiendo el registro eléctrico de la intensidad de lluvia caída.

Los pluviómetros instalados solo disponen de la medida de la intensidad, pues al estar tan alejados de Barcelona no se puede ir a medir el depósito con frecuencia.

En el caso de que se quisiera medir nevadas, se puede conectar un calefactor al embudo, para que funda la nieve. Pero debido a que no ocurren corrientes de derrubios por nevadas,

y que un calefactor consume mucha potencia eléctrica comparado con los otros componentes electrónicos se ha decidido no colocarlo.

El modelo de pluviómetro adquirido en la casa Campbell por 432€ es el siguiente:



Ilustración 11: Pluviómetro electrónico para registrar precipitaciones

2.3.1.2 Termómetro

Se utilizará para medir la temperatura ambiente, se sitúa en la estación meteorológica dentro de un recipiente cilíndrico por el cual circula el aire pero no deja que la radiación directa solar toque sobre el termómetro. Hecho que provocaría errores en la medida de la temperatura del aire, ya que se debe medir a la sombra.

El termómetro es digital y esta conectado a un cable que envía un señal al data logger donde es almacenado.

A continuación se muestra una fotografía de la localización del termómetro en el pluviómetro. Se observa el cable que sale de la parte inferior del recipiente, en un extremo esta situado el termómetro; un cilindro de unos 10cm de longitud y 6mm de diámetro, el otro va conectado al data logger.



Ilustración 12: Contenedor del termómetro que lo protege de la radiación solar directa.

2.3.2 montaje final

El montaje final de la estación meteorológica incluye una placa fotovoltaica para alimentar la batería conectada a placas de memoria donde se guardan los registros meteorológicos, así como el MODEM para poder descargar los datos almacenados a través de una descarga GSM desde la UPC.

2.4 DATA LOGGER

2.4.1 Introducción

El data logger o registrador de datos es un dispositivo electrónico que graba datos adquiridos en el tiempo o en relación a una localización mediante sensores externos.

Están basados en un microprocesador, con memoria interna para almacenar los datos. Algunos data logger, como en el caso de los que se han usado en este proyecto, se conectan a un ordenador se pueden programar y utilizan software para activarlos, ver y analizar los datos recogidos.

Uno de los principales beneficios de usar un data logger es la capacidad automática que dispone de recoger datos en una base de 24 horas. Una vez activado, el data logger se puede dejar desatendido mientras sigue grabando datos durante la duración del periodo de monitoreo.

2.4.2 Modelos adquiridos

Para monitorear los barrancos del proyecto DEBRIS-CATCH se han utilizado 2 data loggers para cada uno.

Un data logger (CR-1000) que registra los datos del ultrasonidos y de los 4 geófonos, el cual dispone de un sensor de temperatura, y mide también el nivel de tensión en bornes de la batería, para así asegurarnos que éste no desciende por debajo de los 12 V.

Y un segundo data logger, más sencillo, (CR-200) para el registro de los datos de la estación meteorológica.

A continuación se muestra una fotografía del data logger CR-1000 con la mayoría de las conexiones preparadas para instalar en el campo.

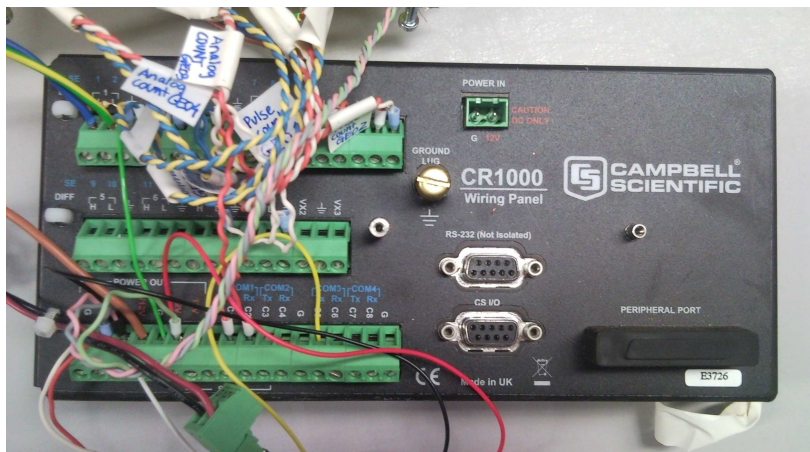


Ilustración 13: Fotografía del data logger CR1000

2.5 Transmisión y MODEM

Sería impensable el hecho de tener que ir a recoger datos con elevada frecuencia a cada uno de los barrancos monitorizados. Por esa razón, lo que se ha hecho es conectar los data logger a Internet con una conexión GSRP vía GSM.

GSRP es un servicio general de paquetes vía radio (General Packet Radio Service). Es una extensión del sistema global para comunicaciones móviles para la transmisión de datos.

Este tipo de conexión a Internet vía teléfono móvil permite descargar los datos almacenados en los data logger desde cualquier lugar, cómodamente a través de un ordenador personal.

Los datos se guardan en formato TXT o bloc de notas, que pueden ser tratados mediante Microsoft Excel o Access para estudiarlos posteriormente.



Ilustración 14: MODEM utilizado en los monitoreos para la transmisión de datos vía GSM

3. METODOLOGÍA Y RESULTADOS DE CALIBRACIÓN

Hasta ahora se ha descrito la diferente instrumentación y sensores que se necesitan para realizar un monitoreo de un corriente de derrubios, si mas no, el tipo de monitoreo usado en el proyecto DEBRIS-CATCH. Ciertamente, se pueden realizar monitoreos más exhaustivos, que incluyan sensores de presión en el lecho del debris para detectar con mas exactitud la masa de derrubios movilizada, cámaras de video que graben el evento, focos para iluminar la grabación del fenómeno si este ocurre de noche, y cualquier sofisticación que con la que se pueda pensar. Pero esto necesitaría aportes de energía mucho mayores, así como un presupuesto económico demasiado alto.

La metodología a seguir para realizar un monitoreo de un corriente de derrubios se explica en el siguiente apartado. Primeramente ha de hacerse una preparación previa del material, luego calibrar los instrumentos en el laboratorio, es decir antes de ir al campo. Comprobar la calibración, instalación en el campo y comprobación de medidas in situ.

3.1 PREPARACIÓN Y CALIBRACIÓN PRELIMINAR SENSORES, DATA LOGGER ETC. EN UPC

Para una optimización del tiempo en el campo y una gran fiabilidad de que toda la instalación de monitoreo funcione correctamente, primeramente, en el laboratorio, se debe proceder a una comprobación del material, seguida de una calibración, y montajes preliminares, para ahorrar tiempo de montaje en el campo.

De menor a mayor dificultad para realizar las tareas previas se tiene:

- Estación Meteorológica
- Transmisión de datos, conexión a internet: MODEM
- Data logger
- ultrasonidos

- Geófonos

Así pues empezamos describiendo por orden

En cada apartado se describirá la preparación que se ha de hacer en el laboratorio, y la calibración, teniendo en cuenta que se ha visitado anteriormente al montaje los barrancos a instrumentar para medir longitudes de cables, decidir donde se montará cada sensor, etc.

3.2 ESTACIÓN METEOROLÓGICA

3.2.1 Preparación del material

Primeramente hay que adecuar el poste metálico en el que irán montados el pluviómetro, el termómetro la placa solar y el data logger a cada uno de los barrancos.

Para la instalación de Ensija se han realizado tres agujeros en el poste, para colocar tirantes y sujetarlo en el sustrato rocoso para así evitar una posible caída debida al viento.

A continuación se muestra una fotografía del montaje realizado en Ensija.



Ilustración 15: Estación meteorológica en Ensija. Se aprecian los tirantes para que perdure en condiciones meteorológicas adversas tales como rachas de viento fuertes.

La estación de Senet en cambio ira anclada a una pared de roca prácticamente vertical, así pues no hará falta adecuar el poste, pero si tener en cuenta llevar algo de cemento para fijar la base al terreno, así como algún tipo de anclaje, que en nuestro caso fueron unas U's metálicas que rodeaban el poste y lo apretaban contra la roca mediante tornillos.

El termómetro y el pluviómetro no requieren preparación previa alguna.

3.2.2 Calibración

Para la estación meteorológica hay que comprobar que el termómetro y el pluviómetro funcionan. Para ello se conectan al data logger y manualmente se calienta el termómetro

dándole calor por ejemplo rodeándolo con la mano, y comprobar que responda correctamente.

Para el pluviómetro se procede moviendo el balancín el cual al hacer contacto una pieza contra la otra genera un impulso digital. Se comprueba también con el ordenador a traves del data logger que responde correctamente.



Ilustración 16: Se puede observar el balancín del interior del pluviómetro (círculo rojo).

3.3 TRANSMISIÓN DE DATOS CONEXIÓN GSM

Antes de ir al campo comprobar que la transmisión de datos funciona es vital, pues si no es así no dispondremos de información para realizar el estudio.

Por tanto en el laboratorio se requiere comprobar la conexión GPRS entre un ordenador y el data logger.

También hay que comprobar la correcta alimentación del MODEM y del CR-200 por parte de la batería.

3.4 DATA LOGGERS

Requieren de un material de soporte informático, un software que permite decirle al data logger que sensores se le van a conectar y cada cuanto tiempo se quiere tomar una medida.

Aquí nos enfrentamos a una problemática que aun no se había planteado:

Si medimos en intervalos de tiempos largos, por ejemplo cada 5 o 10 minutos, obtendremos unos datos climatológicos aceptables, pero cuando haya un corriente de derrubios al ser intervalos tan espaciados no tendremos tiempo de medir como evolucionan las vibraciones de los geófonos o el calado del ultrasonido.

En cambio si los intervalos de tiempo son los aceptables para obtener suficiente información sobre el debris flow, que podrían ser de entre décimas a 1 o 2 segundos, al estar tomando tantos datos, la memoria se agotaría muy rápidamente, a parte de las complicaciones a la hora de bajar tanta cantidad de Kbytes así como gestionar toda esa información.

Por tanto se ha hecho un programa que fusiona los dos párrafos anteriores, es decir:

Se tendrá un modo NO EVENTO que tomará mediciones cada 5 minutos el cual estará activo si no existe un debris flow, es decir la gran mayoría del tiempo.

Y se tendrá también un modo EVENTO en el caso de que haya un debris. Modo que tomara mediciones cada segundo.

Para pasar de modo NO EVENTO a modo EVENTO se ha pensado utilizar dos condicionantes; el primero es que haya una vibración significativa en algún geófono de la instalación. Este valor de vibración umbral se ha escogido de 20 pulsos/s. El segundo condicionante es que el caudal del arroyo haya aumentado, es decir que la lectura del

ultrasonido experimente una variación de la distancia dado un umbral determinado. Y esta variación se ha escogido de 10 cm.

Para volver al modo NO EVENTO las condiciones son que la vibración haya parado dejando un tiempo de margen adecuado, que en nuestro caso se ha elegido de 2 minutos.

Por tanto tenemos:

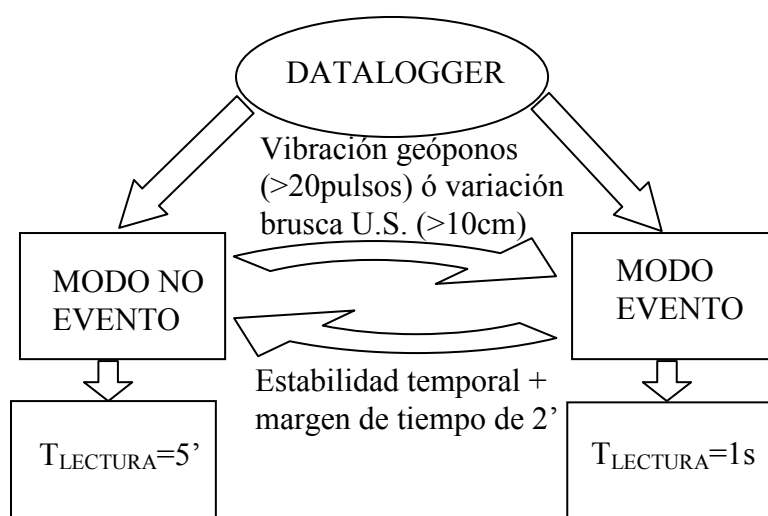


Ilustración 17: Cuadro esquema del programa informático que gobierna el data logger CR-1000

Como las variables climatológicas no varían tan rápidamente como el suceso de un corriente de derrubios no hará falta hacer una lectura de la temperatura cada segundo ni tampoco de la precipitación. Así que este esquema es para el data logger en el que se conectan los geófonos y los ultrasonidos, es decir el CR-1000.

Una vez programados los sensores en el data logger, hecha la anterior operación para optimizar la memoria, y la comprobación de la conexión de los sensores al data logger con su correspondiente montaje dentro de la caja protectora que lo aísla de la humedad y la intemperie esta listo para ser llevado al campo.

3.5 ULTRASONIDOS

3.5.1 Preparación previa

La preparación previa del ultrasonido implica el material a usar para la colocación de este en la posición deseada. Se necesita entonces: cables de acero y tensores para colgar el ultrasonidos encima del cauce, martillo neumático potable para perforar la roca, caja impermeable adecuadamente agujereada por la parte inferior para permitir la lectura del ultrasonido.

Un aspecto crucial a tener en cuenta, es que al ultrasonido se le puede incorporar un corrector de temperatura. En una primera instalación no se tuvo en cuenta (Calibración I), y los datos de lectura obtenidos en el campo desde julio 2009 hasta diciembre 2009 oscilaban de forma bastante aleatoria con la temperatura. Se puede ver en el ANEJO el *ESTUDIO SOBRE LA CORRELACIÓN CALADO TEMPERATURA EN EL BARRANCO DE ENSIJA* para intentar encontrar la corrección y aplicarla a los datos obtenidos sin tener que desmontar el ultrasonido, pero finalmente se tuvo que volver al laboratorio para volver a calibrar el U.S. con el corrector incorporado (Calibración II).

3.5.2 Calibración I

Recordemos que el ultrasonido mide distancias de forma correcta a una distancia de entre 1m y 6m de separación entre él y la superficie a medir

Para calibrarlo, se ha de conectar el dispositivo al data logger. Seguidamente, se debe ir variando la distancia gradualmente entre el U.S. y una superficie de referencia (pared o suelo) e ir anotando valores de tensión proporcionada por el ultrasonido y distancia real medida con una cinta métrica, la calibración realizada tomamos intervalos de 10 cm. A partir de las anotaciones, se haya una relación lineal entre la distancia y la tensión en mV

del ultrasonido. Introducimos esta relación tensión-distancia en el data logger y así directamente nos descargaremos datos en forma de distancia, en lugar de tensión.

Se ha visto que para distancias menores a 1m esta relación no es lineal.

El gráfico obtenido realizando tres veces la calibración y haciendo la media para minimizar posibles errores aleatorios es el siguiente:

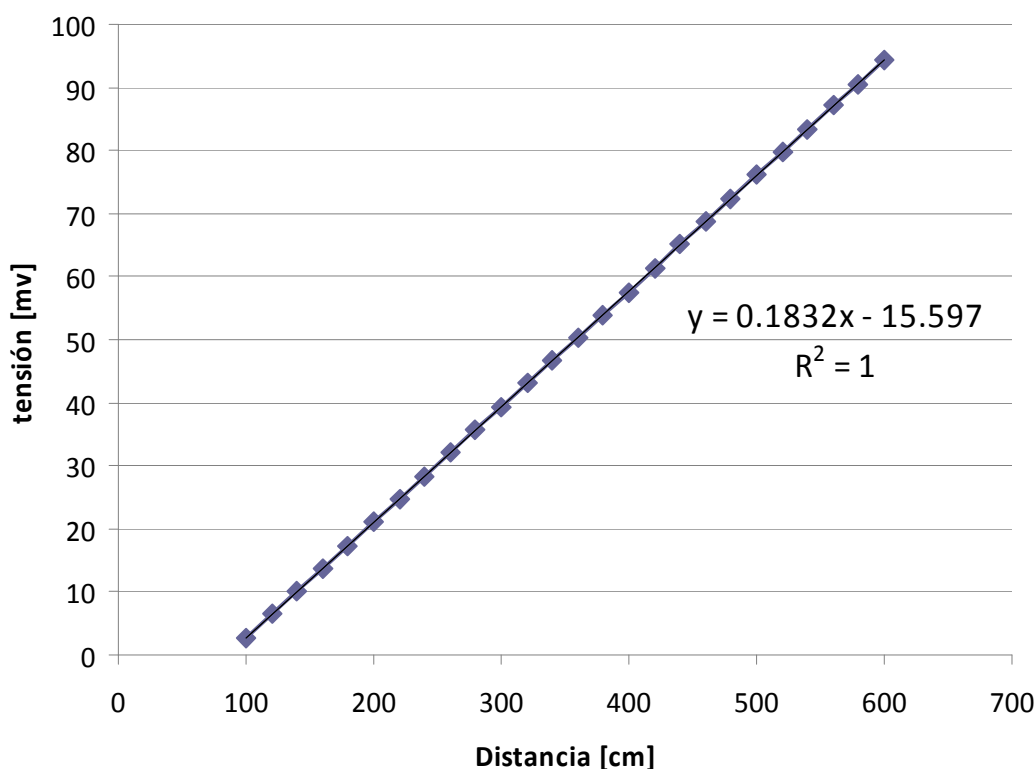


Ilustración 18: Relación tensión-distancia del ultrasonidos. Se muestra la ecuación de regresión lineal y el coeficiente de correlación $R^2=1$ indica un muy buen ajuste.

Los primeros meses, concretamente desde junio 2009 hasta diciembre 2009, el ultrasonido estuvo en el campo registrando datos con esta calibración. Pero hubo errores en la medida, que se explican posteriormente y por tanto se tuvo que realizar una segunda calibración.

3.5.3 Calibración II

3.5.3.1 Introducción

Como el ultrasonido daba medidas de distancia en campo que variaban mucho y de forma al parecer muy aleatoria, se procedió a desmontar el dispositivo situado en el barranco de Ensija para realizar una nueva calibración que proporcionase menos error.

El primer procedimiento que se hizo fue comprobar que lectura proporcionada por el ultrasonido situado en una habitación protegido de la intemperie y las inclemencias meteorológicas y sometido a una variación pequeña de la temperatura. Los resultados fueron los esperados, es decir la distancia no variaba prácticamente a lo largo del tiempo, tal y como muestra el gráfico.

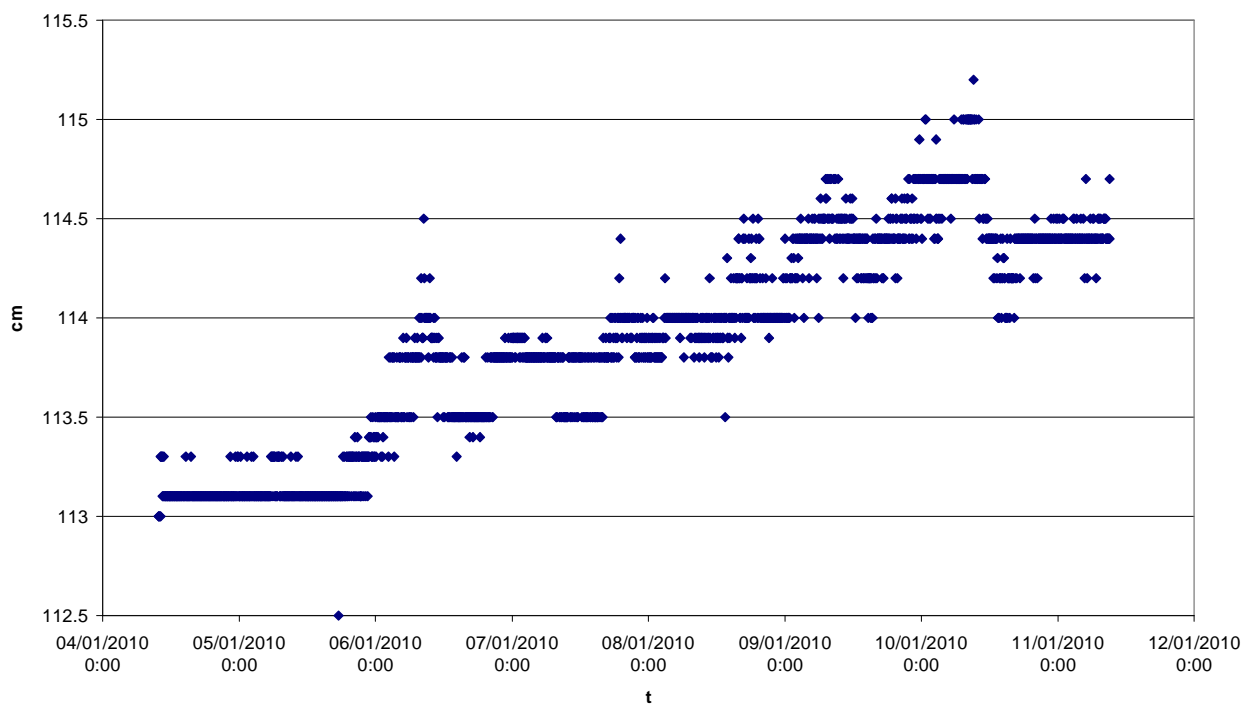


Ilustración 19: Distancia medida por ultrasonidos en habitación a temperatura poco variable.

Se observa una dispersión máxima de menos de unos 2 cm. Pero véase el gráfico a continuación como la temperatura solo varia unos 6 grados:

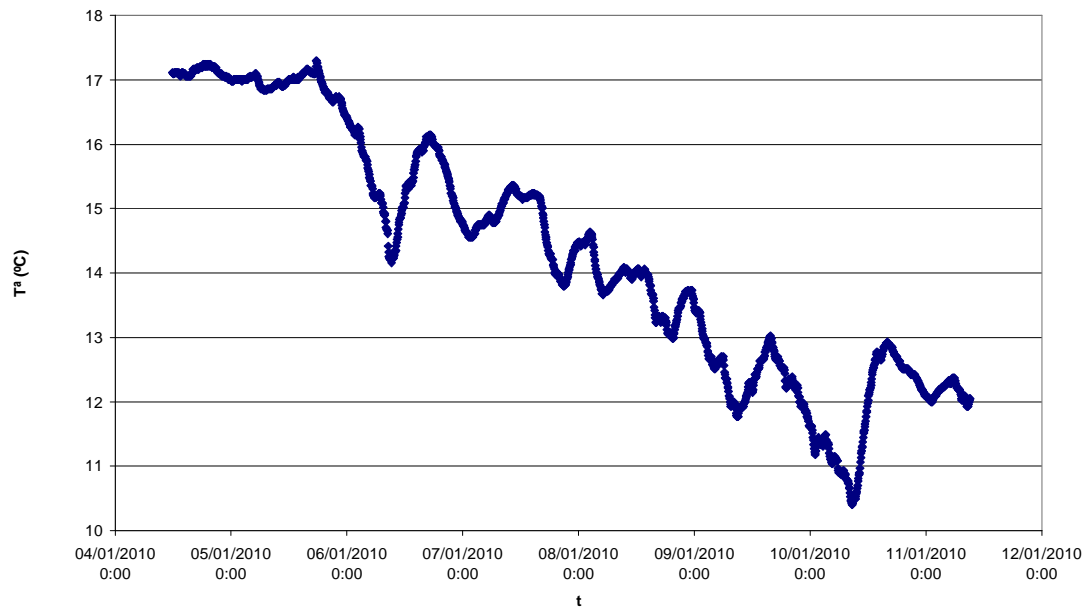


Ilustración 20: Evolución temporal de la temperatura de la habitación en la que se encontraba el ultrasonidos realizando medidas.

La segunda comprobación fue realizar el mismo experimento pero ahora en la terraza del laboratorio. El montaje para el experimento fue el siguiente:



Ilustración 21: Comprobación ultrasonido en terraza enfocando a una superficie plana.

En estas condiciones la temperatura variaba más bruscamente, y los resultados que se obtuvieron para una lectura sobre una superficie plana regular y lisa se muestran a continuación.

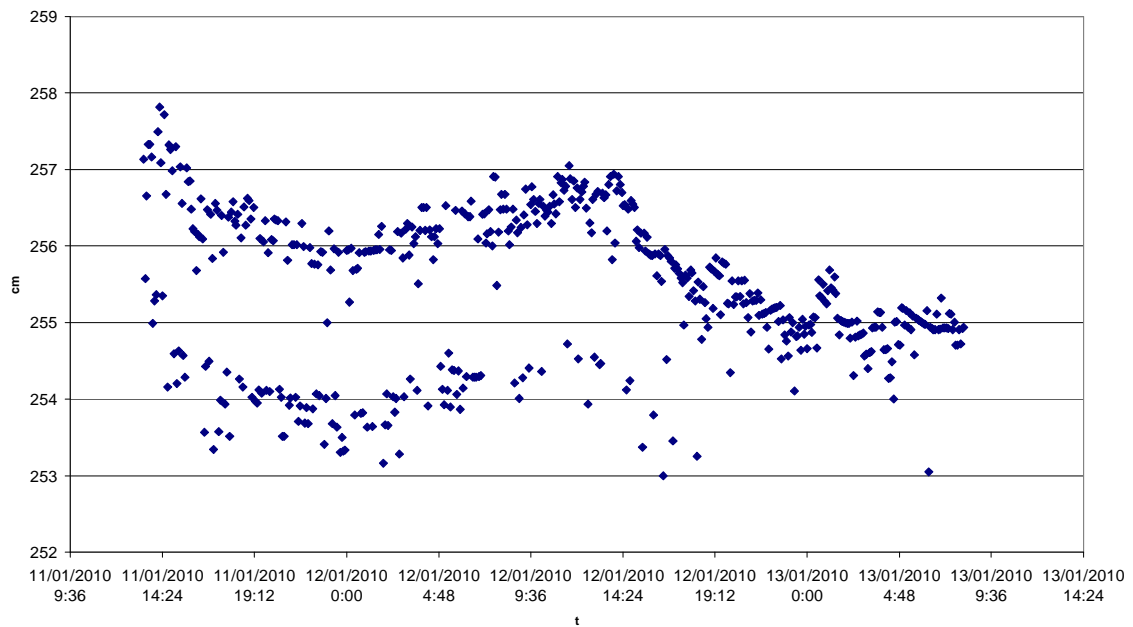


Ilustración 22: Distancia medida a lo largo del tiempo por el ultrasonido situado en la terraza.

Se observa una gran dispersión y un error de hasta 5cm para una superficie plana, lo que implicaría mayor dispersión en el campo.

La variación de la temperatura en la terraza ha sido la siguiente:

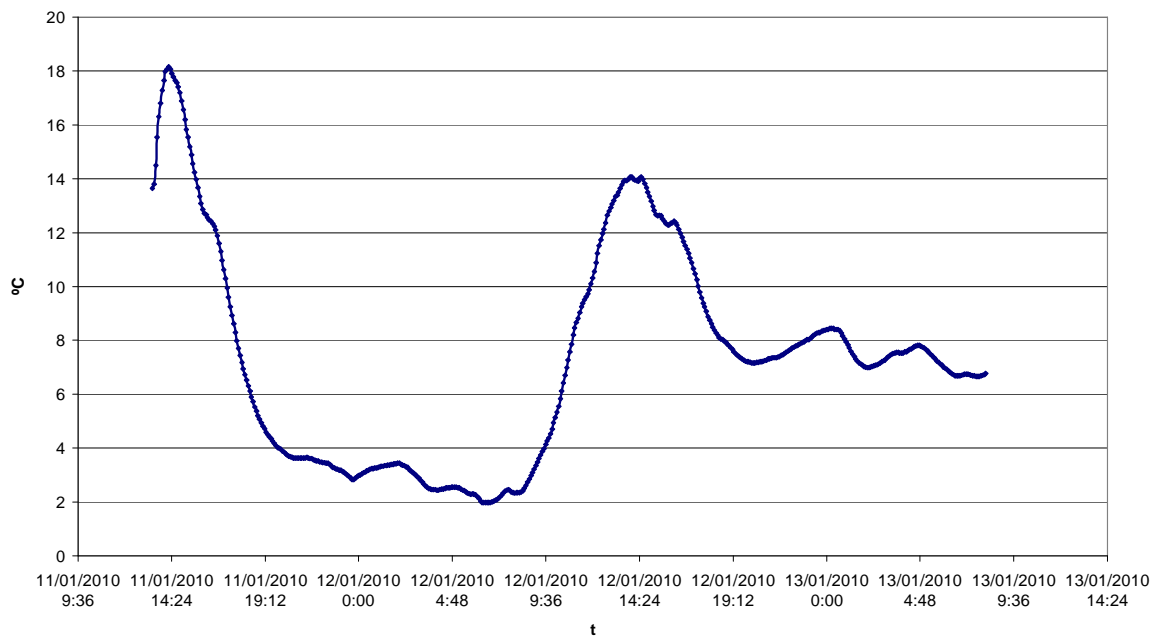


Ilustración 23: Evolución temporal de la temperatura en la terraza durante la prueba del ultrasonidos.

Se puede observar una fuerte bajada de temperaturas a partir de la tarde. La variación máxima es de 16 grados, pudiendo ser mayor en función de la climatología y de la época del año.

Se observa pues que para una variación de la temperatura de unos 6 °C se obtienen errores de unos 2cm y que para variaciones de unos 16 °C el error es de 5cm. Existe pues una dependencia de la lectura con la temperatura que se debe corregir, y esto se soluciona mediante un compensador electrónico de la temperatura.

3.5.3.2. Compensación de la temperatura

Debido a los resultados previos, se decidió completar el ultrasonido con un corrector de temperatura, que consiste en una resistencia PTC (Positive Temperature Coefficient) que es una termo resistencia cuyo valor va aumentando a medida que se incrementa la temperatura y de un pequeño sistema de control electrónico conectado al sensor. El compensador es tal y como se muestra en la siguiente imagen:



Ilustración 24: Compensador de la temperatura para el ultrasonidos

Con el compensador de temperatura conectado al ultrasonidos se volvieron a repetir los dos experimentos anteriores: medida en una habitación cerrada y al aire libre. Nótese que el compensador viene con un cable de unos 60cm de largo, esto es para que el compensador se coloque fuera de la caja en la que va situado el ultrasonidos, pues esta caja esta sometida a efecto invernadero y su temperatura no corresponde con la del exterior.

Los resultados de las pruebas de la calibración fueron los siguientes:

En el laboratorio, es decir con poca variación de la temperatura se obtuvo la siguiente dispersión:

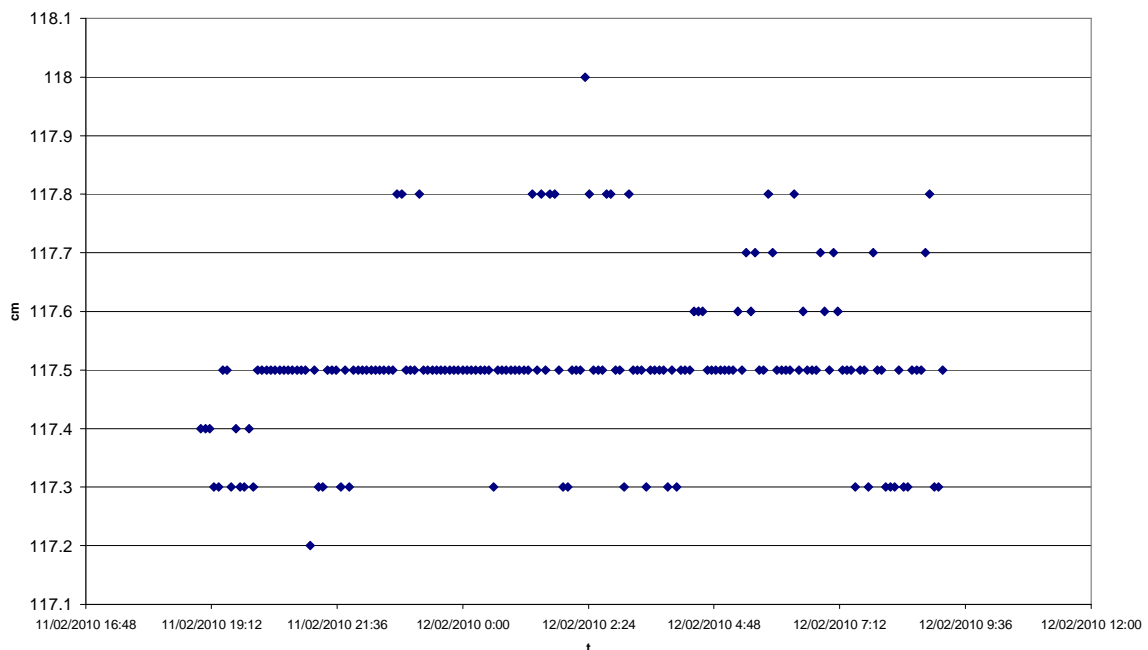


Ilustración 25: Medidas del ultrasonido en laboratorio con compensador de la temperatura.

Nótese que se obtiene un error de 8mm en el caso más extremo, lo que implica una dispersión aceptable para la siguiente variación de temperatura de rango 7 °C:

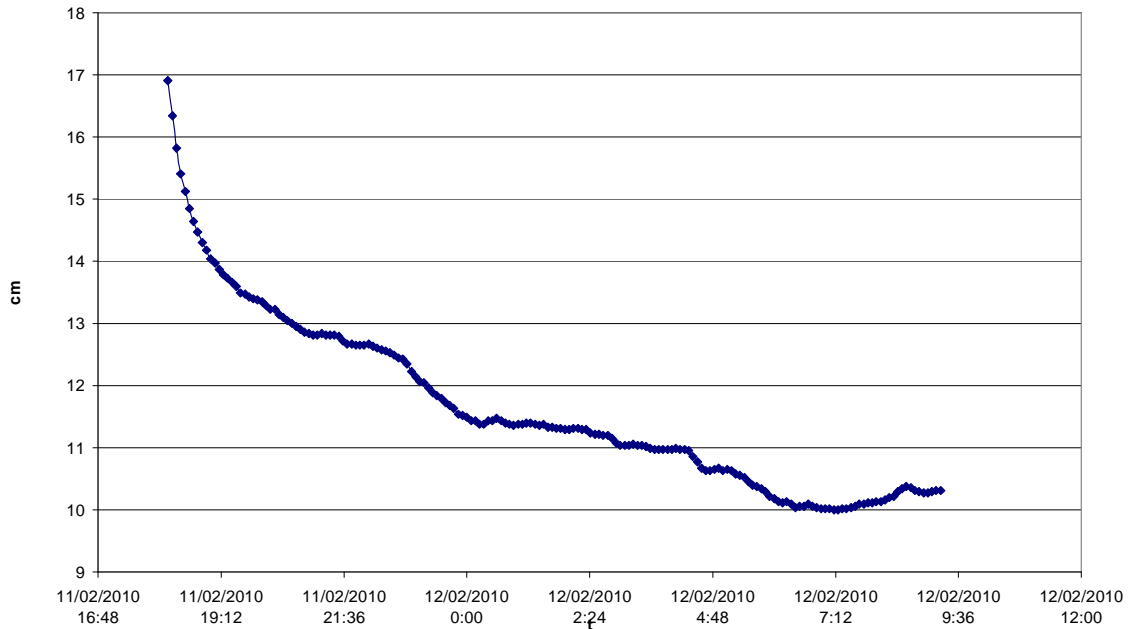


Ilustración 26: Evolución de la temperatura del laboratorio en la prueba.

Los resultados de lecturas del ultrasonidos en la instalación en la terraza con compensación de temperatura fueron:

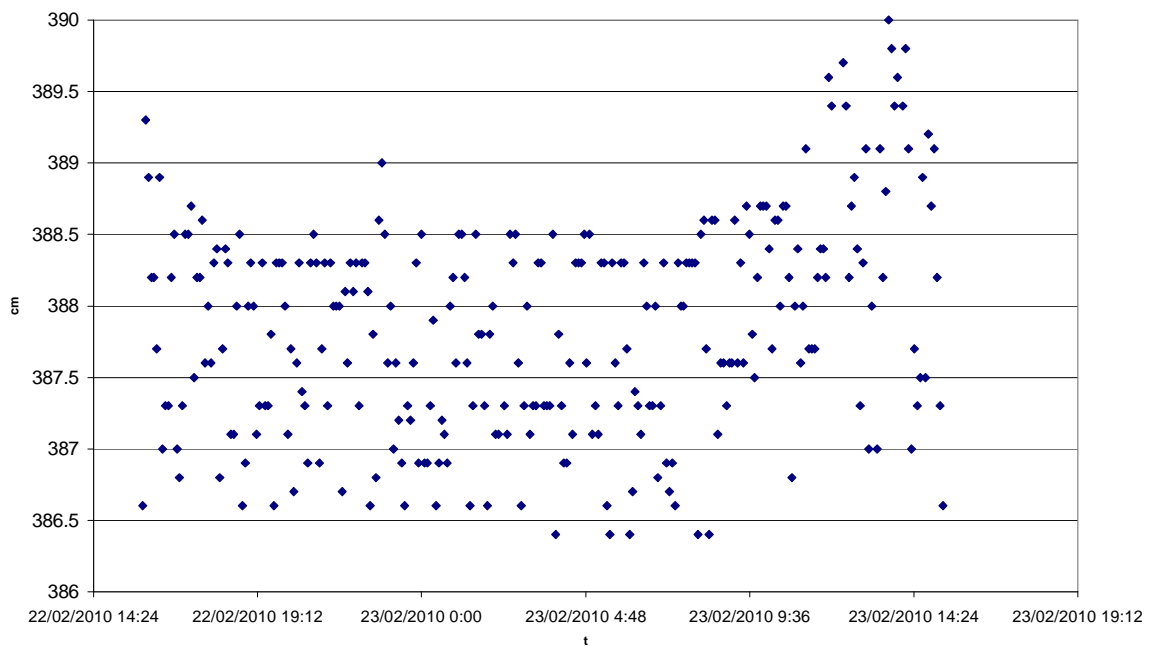


Ilustración 27: Medidas del ultrasonidos en la terraza con compensador de temperatura.

La dispersión es de unos 3cm, mayor que en el laboratorio, pero menor que sin el compensador de temperatura.

La variación térmica de la terraza es de unos 15 °C como se puede apreciar en el siguiente gráfico:

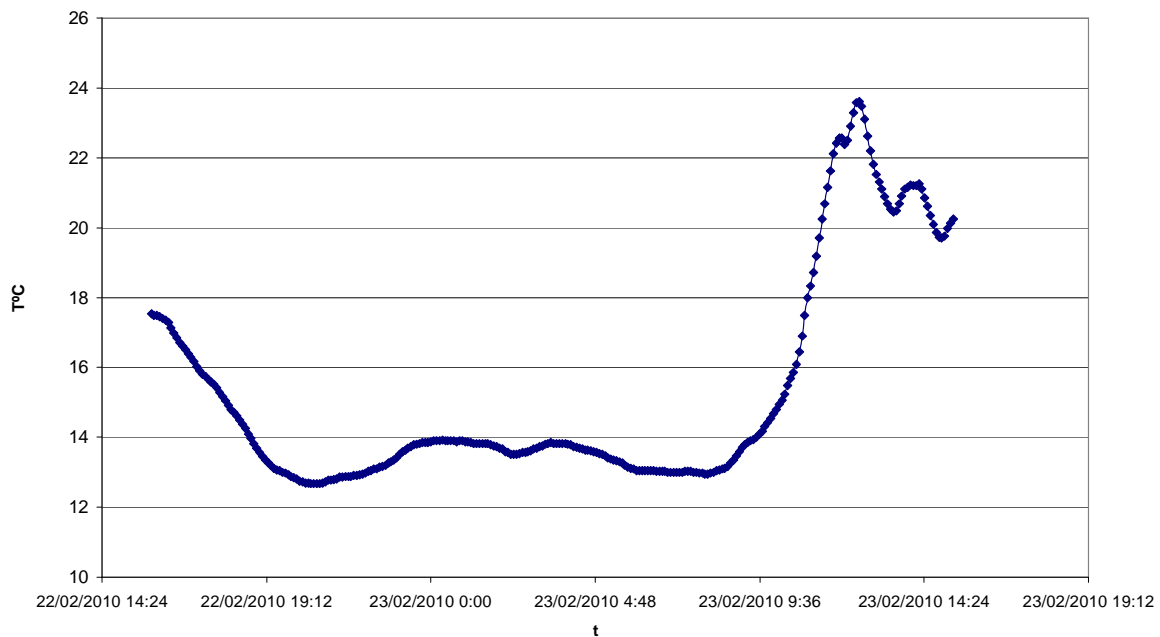


Ilustración 28: Evolución temporal de la temperatura en la terraza.

Una vez hecha la corrección de la temperatura mediante el compensador electrónico había otros factores a tener en cuenta para una correcta lectura que se explican a continuación.

3.5.3.3 Cono de lectura del ultrasonidos

El ultrasonido realiza la lectura mediante ondas acústicas y estas tienen una salida cónica cuya apertura y altura se pueden programar mediante el programa ULTRA3000.

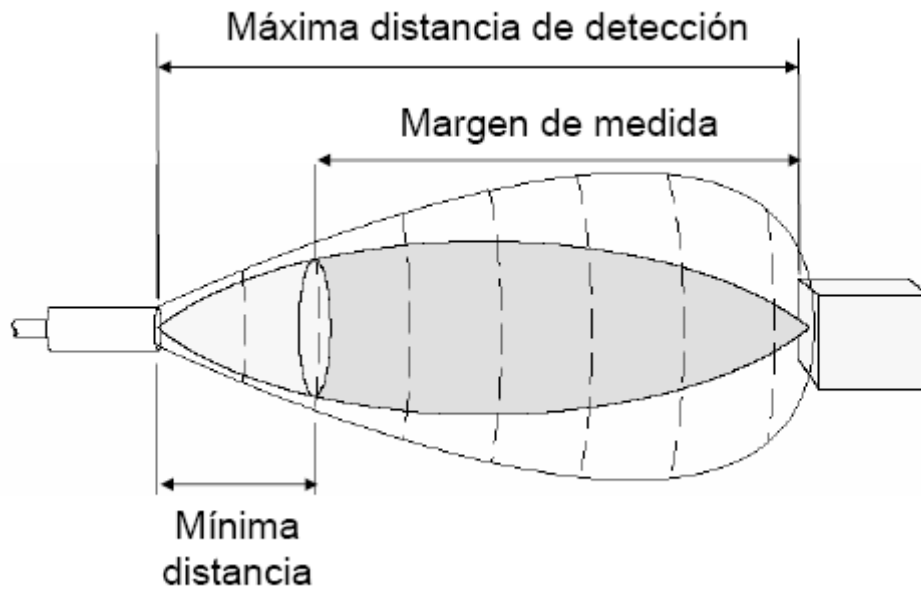


Ilustración 29: cono variable de lectura del ultrasonido

Por defecto, en una configuración inicial, el cono esta definido con apertura y altura máximas. Pero en los barrancos instrumentados recordemos que estamos midiendo mientras no haya una corriente de derrubios, un pequeño torrente de una anchura de unos 20-40 cm dependiendo de su caudal.

Por tanto anchuras de cono excesiva no medirán la distancia del ultrasonido a la lámina libre de agua del torrente, que es el resultado deseado, sino que el cono albergará las paredes laterales sin agua de las cercanías del torrente y por tanto las ondas acústicas rebotaran antes con las rocas más cercanas.

En el esquema que se muestra a continuación se pueden ver dos conos, el de mayor apertura tendría una parte de él cuyas ondas acústicas rebotarían antes con los laterales del torrente que con la lámina de agua y este hecho daría una medida errónea.

En cambio el cono de menor ángulo de apertura, el de color gris, es el correcto para la instalación de monitoreo, pues sus ondas rebotan en la lámina de agua.

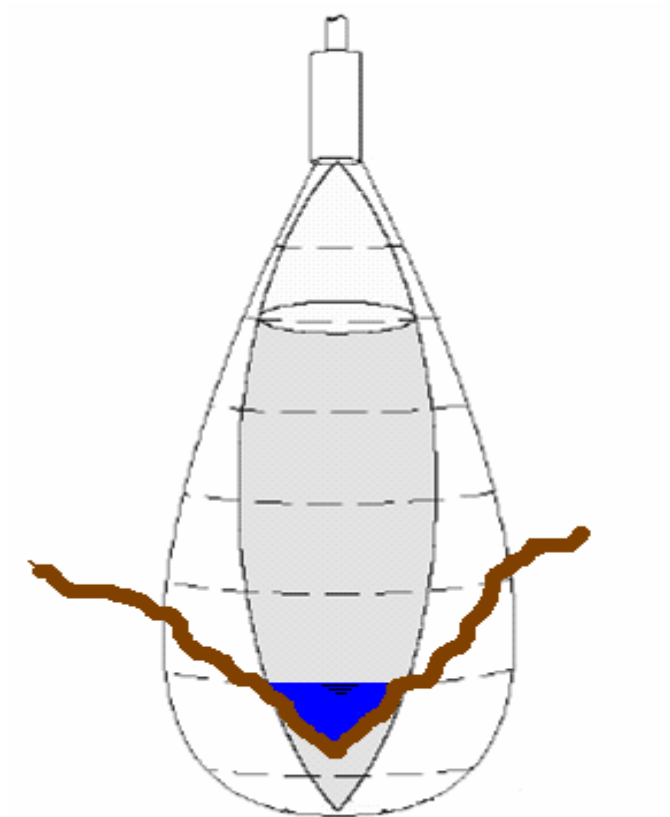


Ilustración 30: Esquema de la lectura cónica del sensor de ultrasonidos sobre un relieve no uniforme.

En nuestra instalación de campo se puede observar como según la apertura del ángulo de lectura del ultrasonido las ondas acústicas rebotaran en zonas que no nos interesa medir:

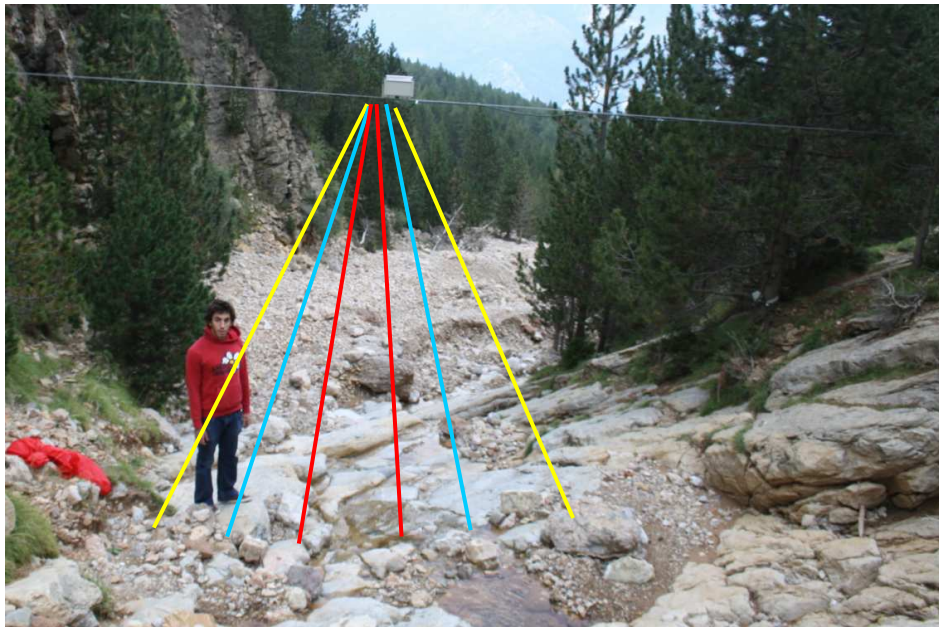


Ilustración 31: Distintos conos de lectura. Interesa el cono rojo para medir la altura de lámina libre del torrente.

No interesa las aperturas grandes que nos falseen la distancia, por tanto con el programa ULTRA3000 programaremos la pequeña CPU contenida en el ultrasonido para ajustar el cono a las necesidades del proyecto.

A parte de los ajustes de compensación de temperatura y apertura del cono, después de hablar con el técnico de la casa a la que se compro el sensor e investigar sobre el comportamiento de estos dispositivos se tuvieron dos factores más en cuenta para acabar de mejorar la lectura.

Estos dos factores son el número de lecturas que el ultrasonidos realiza cada vez que le decimos que realice una medida y el otro factor es el tiempo que pasa desde que el data logger deja que le llegue corriente hasta que el ultrasonidos lee.

3.5.3.4 Lecturas del ultrasonido

Cada vez que el ultrasonido nos da un valor de una lectura en realidad lo que hace internamente es enviar varios paquetes de energía en forma de onda acústica ultrasónica, cada paquete esta separado un pequeño intervalo de tiempo del orden de milisegundos.

En condiciones ideales, es decir, si la superficie que estamos midiendo es perfectamente plana y lisa y la velocidad del viento es nula, cada uno del los varios paquetes enviados por el sensor volverá con la misma energía y el ultrasonido le asociara un valor de distancia a esa energía.

En cambio en una situación real, donde tendremos una superficie no plana, con irregularidades y con una velocidad del viento no nula, el sensor enviará una serie de paquetes de energía y cada uno volverá con una energía diferente, pues estos habrán sido distorsionados por rebotar antes en una irregularidad del terreno que otro paquete, porque el viento haya afectado mas a un paquete que a otro, etc.

Entonces el ultrasonido internamente almacena momentáneamente los datos de cada uno de los varios paquetes enviados en cada lectura. De esos valores descarta los extremos, es decir el de mayor y menor valor, y hace una media de los restantes datos.

En el programa ultra3000 se puede aumentar el número de paquetes enviados en cada lectura hasta un máximo de 8. De esta forma se afina más en cada lectura.

3.5.3.5 Tiempo de espera de inicialización del ultrasonido

El data logger CR1000 esta programado para que el ultrasonido realice una lectura cada minuto en modo evento, es decir cada minuto deja que pase corriente hacia el sensor y este realiza una lectura.

Esto no es correcto del todo, pues el sensor tiene una pequeña CPU igual que un ordenador, aunque con un tiempo de inicialización menor. Por tanto si queremos que se realice una lectura de la distancia cada minuto, en realidad el data logger debe dejar pasar la corriente unos instantes antes para dar tiempo a que la CPU se inicialice.

A parte de la CPU la membrana tiene que estar lista para empezar a vibrar para enviar los paquetes de energía, y necesita un pequeño tiempo de ajuste antes de que vibre de forma correcta.

En definitiva, se necesitan unos segundos hasta que el sensor esta listo para funcionar correctamente. Y este tiempo según el técnico especializado en sensores debe ser de unos 3 a 4 segundos.

3.5.4 Conclusiones sobre las correcciones.

Se han hecho todas las correcciones posibles para que la lectura del ultrasonidos sea lo mas efectiva posible pero aun así es imposible que no haya una dispersión respecto la medida real, pues hay muchos factores que influyen en el ultrasonidos, por ejemplo el viento la humedad, la textura e irregularidad del terreno, etc.

También es importante darse cuenta que el hecho de enviar más paquetes de energía en cada lectura y tener el CR-1000 enviando corriente durante más tiempo que anteriormente,

supone un aumento del consumo, así que se propone la instalación de otra placa fotovoltaica para asegurarnos de tener alimentada la instalación.

3.5.5 Calibración recta tensión-intensidad distancia.

El ultrasonidos esta programado internamente para que una distancia de 800mm le corresponda un valor de intensidad de 4mA y 6000mm le correspondan 20mA.

También existe la posibilidad de trabajar con valores de voltaje en lugar de intensidad, pero la distancia que separa el ultrasonidos del CR1000 es lo suficientemente grande para obviar la caída de tensión que tendrá lugar a lo largo del cable induciendo errores en la lectura. Y en cambio el valor de la intensidad no decaerá.

Por tanto con estos valores de intensidad asociados a una distancia obtendremos la medida del ultrasonido.

El problema es que el data logger CR-1000 no trabaja con estos valores de intensidad sino que trabaja con tensiones. Para ello se ha pasado a valores de voltaje con la simple relación $U=I \cdot R$

La escala de tensiones a la que trabaja el CR1000 es de 0 a 5V, pero para poder trabajar con esta escala de tensiones, transformaremos la señal de salida del ultrasonidos justo en la entrada del data logger a fin de minimizar la caída de tensión. La resistencia aconsejable a utilizar es de 250 ohmios. Para esta resistencia obtenemos para una intensidad de 20mA una tensión de 5V y para 4mA se obtiene 1V.

Es recomendable que la resistencia tenga la tolerancia lo más pequeña posible. Recordemos que la tolerancia de una resistencia viene dada por un círculo que la rodea. Según el color del círculo se tiene una tolerancia u otra. El color marrón corresponde a la resistencia con la menor tolerancia disponible que es del 1%.










Color de la banda		Valor de la 1ª cifra significativa	Valor de la 2ª cifra significativa	Multiplicador	Tolerancia	Coefficiente de temperatura
Negro		-	0	1	-	-
Marrón		1	1	10	±1%	100ppm/°C
Rojo		2	2	100	±2%	50ppm/°C
Naranja		3	3	1 000	-	15ppm/°C
Amarillo		4	4	10 000	4%	25ppm/°C
Verde		5	5	100 000	±0,5%	-
Azul		6	6	1 000 000	±0,25%	10ppm/°C
Violeta		7	7	-	±0,1%	5ppm/°C
Gris		8	8	-	-	-
Blanco		9	9	-	-	1ppm/°C
Dorado		-	-	0,1	±5%	-
Plateado		-	-	0,01	±10%	-
Ninguno		-	-	-	±20%	-

Ilustración 32: Código de colores de las resistencias.

Una vez tenemos el ultrasonidos programado y el data logger adaptado al ultrasonido lo único que hay que hacer es introducirle al programa del data logger la recta tensión distancia para obtener directamente la lectura en unidades de longitud.

3.6 GEÓFONOS

3.6.1 Preparación previa

Cada uno de los cuatro geófonos de cada barranco, va colocado en una caja metálica protectora la cual se ha de adecuar para la instalación en el campo. Por lo tanto, para la preparación se requiere hacer agujeros para el cableado y la fijación de la caja en la roca, sellar las juntas por donde pueda infiltrarse la humedad así como colocar prensaestopas,

que son unas piezas que dejan pasar únicamente el cable, aislando el interior de la caja del exterior.

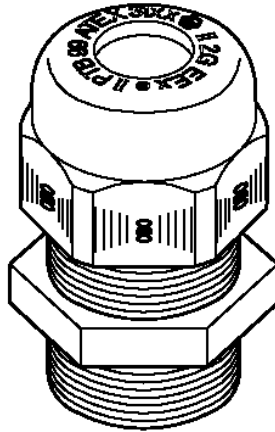


Ilustración 33: Prensaestopas

3.6.2 Electrónica

Paralelamente hay que diseñar un circuito electrónico que transforme la señal de salida del geófono en una lectura real, para ello el especialista en electrónica del departamento de Ingeniería del terreno de la UPC, ha diseñado el siguiente circuito impreso, basándose en modelos anteriores de circuitos electrónicos usados por científicos suizos en el estudio de otros barrancos.

El montaje final de este circuito es una placa de unos pocos centímetros de tamaño, como la que se muestra a continuación:

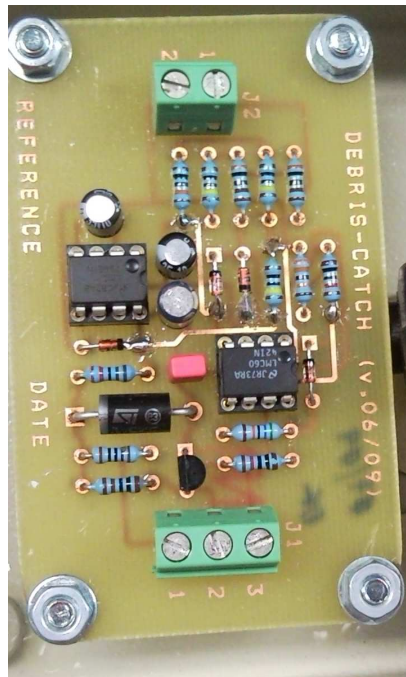


Ilustración 34: Circuito electrónico

3.6.3 Calibración

Para filtrar las vibraciones que sean demasiado pequeñas, tales como las producidas por el paso de un animal cerca del ultrasonido, la lluvia, etc. Y evitar que el MODO EVENTO dispare cada dos por tres, hay que ajustar el potenciómetro, es decir la resistencia variable, del circuito integrado.

Si no se ajusta correctamente y el geófono capta vibraciones insignificantes, siempre estaremos registrando valores de vibraciones que en realidad no son debidas al debris flow si no a otros factores citados anteriormente que no nos interesan para nuestro estudio. En cambio, si por el contrario filtra vibraciones elevadas, puede ser que al ocurrir un evento, los geófonos no capten nada.

Para calibrar el geófono se han cogido varios tamaños de rocas, del tamaño de un puño, de un palmo y de una pelota de básquet aproximadamente y estando el geófono apoyado en un estrato duro, se tiran las rocas a una distancia parecida a por donde pasa el canal. Con la ayuda de un osciloscopio conectado a la salida del circuito electrónico y este conectado

al geófono se puede observar la señal eléctrica. Hay que ajustar la resistencia variable para que una vibración demasiado pequeña no induzca a dar ningún valor.

3.7 OTRO MATERIAL

Para agilizar aún más el montaje en el campo tareas de preparación previa tales como las siguientes son necesarias: Pelar cables (ya que tienen una pantalla-malla metálica protectora contra roedores y es complicado pelarlos), realizar el máximo número de conexiones posibles entre dispositivos electrónicos (MODEM, data logger, etc.) Mejor en el laboratorio que en el campo), colocar los geófonos en las cajas metálicas junto con los circuitos electrónicos, dejar en la caja del data logger a parte de éste, también el MODEM y la batería, escribir carteles informativos del proyecto para intentar que excursionistas no toquen el material de investigación y ponerlos encima de las cajas con el correspondiente forro para que aguanten la lluvia.



Ilustración 35: Geófono montado en caja metálica junto con circuito electrónico, aún en proceso de preparación ya que faltan las conexiones del geófono al circuito impreso. Se puede apreciar que algunas de las juntas están selladas con silicona o pegamento.

3.8 COMPROVACIÓN DE LA INSTALACIÓN EN EL LABORATORIO

Después de realizar la calibración II, con el ultrasonido reprogramado con el compensador de temperatura y antes de reajustar la instalación en el campo para la temporada de debris de verano, la más importante, se han efectuado unas pruebas de laboratorio para comprobar que los geófonos y el ultrasonido disparan correctamente con el software previamente reajustado para depurar algunos fallos.

El modo evento dispara de forma correcta ante una vibración o cambio de distancia en el ultrasonidos. También se ha comprobado la precisión y velocidad de lectura del ultrasonido posicionando una tabla delante de el a distancias diferentes durante intervalos largos de tiempo, y luego se ha movido bruscamente la tabla simulando un debris (zona circular roja).

El siguiente gráfico muestra los exitosos resultados del ultrasonido:

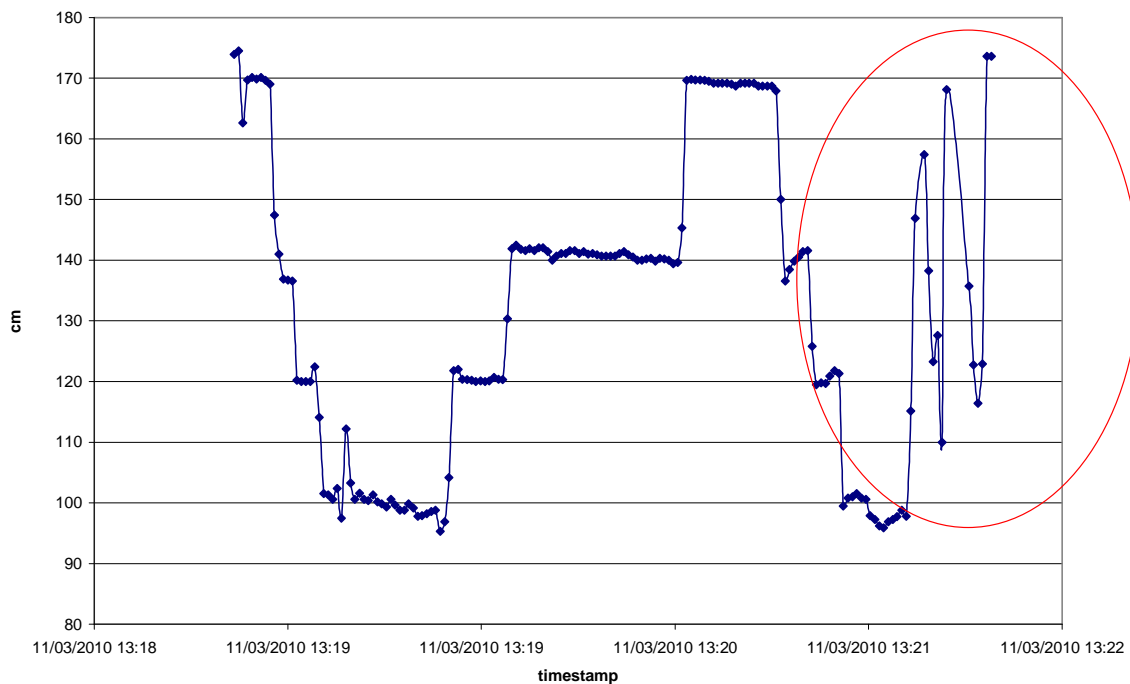


Ilustración 36: Variación del ultrasonidos, escalonada y brusca. Prueba de laboratorio.

4. INSTALACIÓN EN EL CAMPO

La instalación de un monitoreo de corrientes de derrubio en un barranco puede ser mas complicado de lo que parece. Para empezar el acceso no es fácil. Hay que llevar material pesado hasta el inicio del canal principal, zona que no es accesible ni siquiera por todo terrenos, hay que llegar a pie. Además hay que sortear posibles zonas con elevada densidad de vegetación, pasos resbaladizos y poco estable debido a bloques que se mueven, etc.

Un factor muy importante a tener en cuenta es haber hecho una previa planificación antes de ir al campo para optimizar el tiempo que se está allí, así como asignar a cada miembro del equipo la tarea que deberá realizar. Aunque en la práctica todo esto es relativo y dichas asignaciones sufren variaciones inevitables.

4.1 DECISIÓN DE LA COLOCACIÓN DEL MATERIAL

Antes de subir con todo el material es preciso estudiar la zona detalladamente a partir de fotografías aéreas, ortofotomapas, etc. para decidir cuales serán los lugares donde se instalarán cada uno de los 4 geófonos, el ultrasonido y la estación meteorológica.

Para detallar aún más estas ubicaciones, y escoger además los lugares propicios de los data loggers es conveniente realizar una visita al lugar antes de realizar la instalación. Con la ayuda de un GPS se pueden registrar las coordenadas UTM de donde querremos poner posteriormente nuestros sensores. Y así movernos más fácilmente por el debris, estudiando cuales son los lugares óptimos.

4.1.1 Esquema general de la instalación

El monitoreo de los barrancos instrumentados en el proyecto DEBRIS-CATCH constan de dos circuitos independientes cada uno de los barrancos.

- Circuito de la estación meteorológica.
- Circuito de los geófonos y ultrasonido.

4.1.2 Circuito de la estación meteorológica

El circuito referido a la estación meteorológica es el más sencillo de los dos circuitos que constituyen la instalación, este consta de los siguientes elementos, ya explicados en apartados anteriores:

- Estación Meteorológica
 - Termómetro
 - Pluviómetro
- Data logger CR200
- MODEM GSM
- Placa fotovoltaica
- Batería
- Cables para realizar conexiones
- Anclajes varios
- Cajas donde guardar el MODEM y el data logger CR-200.

Preferiblemente este circuito se colocará en la parte superior de la cuenca para que las medidas de lluvia sean lo mas representativas posibles.

4.1.3 Circuito de los geófonos y ultrasonido

Este segundo circuito es el más complejo. Dispondrá de los geófonos i el ultrasonido. Los componentes de este circuito son:

- 4 geófonos
- Ultrasonidos
- Data logger CR1000
- MODEM
- Placa fotovoltaica
- Batería
- Cables para realizar las conexiones dentro del data logger.
- Cables especiales con pantalla metálica protectora.
- Cajas varias (data logger, ultrasonidos, geófonos)
- Anclajes varios
- Cable de acero para la colocación del ultrasonidos
- Tornillos varios.

Este circuito se sitúa por debajo de la estación meteorológica a lo largo del canal principal. Se ha de tener en cuenta la disposición de los geófonos como se ha comentado anteriormente, es decir dejando una distancia entre ellos ni muy grande ni muy pequeña. Esta distancia recordemos que era de unos 100 metros aproximadamente, por lo tanto se requerirá una gran longitud de cables.

Estos cables no estarán sujetos a la roca mediante anclaje alguno por lo tanto se buscará un trazado que asegure que la instalación perdure debido a posibles pequeños desprendimientos o debris. También han de ser resistentes a roedores que puedan dañar el cable, por tanto se utilizaran cables con una malla metálica protectora.

El ultrasonido debe colocarse en una sección lo más regular posible y que tampoco este muy lejos del data logger CR1000 pues una longitud excesiva de cable incrementa el peso a transportar considerablemente.

En el lugar escogido en la previa visita a campo y teniendo en cuenta que debemos colocar el ultrasonidos a una altura considerable para que cuando haya una corriente de derrubios este pueda medir el calado y no ser arrastrado por ella. Se debe realizar su montaje con

unos cables de acero anclados a roca sana y unos tensores para asegurar la horizontalidad de los cables.

Cabe decir que según el lugar escogido el montaje puede acabar resultando muy complicado, por tanto hay que realizar una buena preparación previa.

El esquema de la instalación es el siguiente:

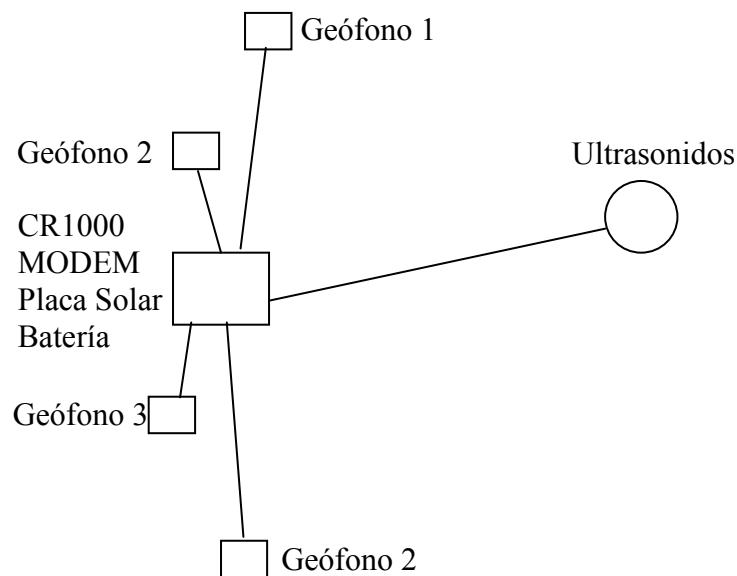


Ilustración 37: Esquema del montaje de cada una de las estaciones de monitoreos.

4.2 CALIBRACIÓN Y COMPROBACIÓN EN EL CAMPO

Una vez se haya realizado todo el montaje se debe comprobar el funcionamiento del circuito. Las consideraciones a tener en cuenta se deben de realizar en:

- Estación meteorológica
- Data logger
- Ultrasonidos

-Geófonos

4.2.1 Estación meteorológica

Es el más sencillo de comprobar en el campo. Sencillamente se debe comprobar que la conexión del MODEM funcione correctamente, esto se hará conectándonos a Internet a vía un ordenador portátil para luego comprobar que el termómetro marca una temperatura correcta.

Para comprobar el pluviómetro, en el caso de que no llueva no sabremos si funciona o no, para ello antes de su colocación volvemos a realizar la comprobación del laboratorio. Es decir, tocamos el balancín y vemos que registra una lluvia ficticia.

A continuación se muestra el montaje final de la estación:



Ilustración 38: Estación meteorológica de Senet, anclada al sustrato rocoso. De arriba abajo; pluviómetro, termómetro con recubrimiento que lo protege de la radiación directa, placa fotovoltaica, caja del data logger y batería.

4.2.2 Data logger

El lugar de instalación de los dataloggers ha de ser lo mas resguardado posible de la climatología. A pesar de que en alta montaña esta situación no se encuentra fácilmente, en Ensiya por ejemplo se ha encontrado una roca que protege el data logger de la lluvia. Obviamente data logger, junto con batería y MODEM están en una caja cuya función es mantener los diferentes componentes electrónicos secos y resguardados.

En senet el lugar del CR-1000 está mas a la intemperie pero también cercano a unas rocas que lo protegen algo.

Los CR-200 de las estaciones meteorológicas en cambio están situados en el poste que soporta el pluviómetro y el termómetro.

Seguidamente se muestra una fotografía del emplazamiento del CR-1000 de Ensija, bajo una roca oblicua que lo resguarda bastante bien de la lluvia. (Aunque no es totalmente necesario ya que la caja que lo protege es impermeable).



Ilustración 39: Data logger de Ensija para los 4 geófonos y el ultrasonidos.

4.2.3 Ultrasonidos

Este sensor se utilizará como objetivo principal para medir la altura del evento de corriente de derrubios para determinar que cantidad de sedimentos ha sido movilizad, el flujo y la masa de derrubios. Como objetivo secundario continuamente medirá la altura de la lámina libre de agua del pequeño arroyo que atraviesa el debris flow el cual variará de caudal en función de la precipitación.

Para poder determinar el caudal a partir de la altura de lámina libre, nos hace falta conocer la sección de paso en el lugar de medición. Estando en alta montaña obviamente la geometría es muy irregular, pero se ha instalado el ultrasonido en un punto óptimo del canal, el cual presenta una sección bastante triangular para que sea más fácil determinar su sección.

Hay que tener en cuenta que el ultrasonidos en su medición tiene un volumen de influencia de geometría cónica y hace una especie de media de alturas que se encuentran en su área de influencia. Según el ultrasonidos existe un diferente intervalo de distancias que pueden medir con un error pequeño indicado por el fabricante. En el caso del ultrasonidos adquirido para el proyecto esta distancia debe ser de más de 1 metro y menos de 6m.

4.2.3.1 problemática en campo

De buenas a primeras parece bastante sencillo, hay que colocar el ultrasonidos a unos 4 o 5 metros, altura suficiente para que el debris no se lo lleve por delante. Pero una vez en el campo no es tan fácil como pueda parecer.

Primero hay que encontrar una sección bastante regular y en un punto intermedio del canal principal del debris. Una vez localizada dicha sección el ultrasonido ha de estar situado en la vertical del cauce del pequeño arroyo.



Ilustración 40: Sección lo más regular posible. Arroyo de Senet.

Para lograr este montaje, se ha puesto el ultrasonidos en una caja con un agujero en la parte inferior para poder realizar la lectura de la distancia, con unos cables de acero, unos tensores, mucha paciencia y algo de escalada, se consigue colocar el ultrasonidos en la posición deseada, tal y como se ve en la fotografía:



Ilustración 41: Ultrasonido de Senet. Se puede apreciar que el lugar de trabajo para anclar los cables es sustrato rocoso para aguantar la tensión suficiente.

En Ensija tenemos una situación parecida con una sección semitriangular, lo más regular posible:



Ilustración 42: Sección de forma lo más triangular y regular posible donde se encuentra el ultrasonidos en el barranco de Ensija.

Una vez superada la ardua tarea de la correcta instalación del ultrasonidos se comprobará su funcionamiento. Un posible procedimiento puede ser el de coger una superficie plana, como ahora una caja de cartón abierta o una sábana y mientras la persona que tiene la superficie plana se pone debajo del sensor a una distancia conocida, otra persona del equipo se conecta a Internet, de paso comprueba la conexión vía MODEM del CR1000 y mira que la lectura del ultrasonidos es correcta. Para corroborar aún mas la lectura se puede hacer variar la altura de la superficie plana y obtener varios valores.

4.2.4 geófonos

En cada barranco a instrumentar se colocarán 4 geófonos situados en puntos estratégicos. La elección de la localización de estos sensores es fundamental para la correcta medición

de la velocidad del debris, así como la perduración de los sensores en caso de que haya varios eventos.

La idea principal es que cuando se produzca un debris flow a medida que la masa de material avanza provocará vibraciones en el suelo, estas se propagarán por el sustrato rocoso hasta los sensores, los cuales registraran la vibración y la guardaran como dato en lo que se conoce como data logger junto con la hora de detección. Es decir tendremos parejas de datos vibración-tiempo.

Los sensores se colocarán a lo largo del canal principal por donde bajará el debris flow, cuando el frente pase cerca de uno de los geófonos, este registrara un valor de vibración máximo, un pico, el cual se irá propagando con la distancia a medida que el frente avanza y se acerca a los otros geófonos. En definitiva tendremos un pico de vibraciones que avanza en tiempo y espacio a partir del cual calcularemos la velocidad de la corriente.

Es importante colocar los sensores en el sustrato rocoso ya que la vibración se transmitirá por ese medio.

Otro factor a tener en cuenta como se ha dicho anteriormente es la separación entre sensores:

Si la separación es muy grande algunas de las características de la corriente de derrubios pueden cambiar debido a causas locales, por ejemplo variaciones geomorfológicas del canal, presas en el debris temporales, etc. lo que provocaría dificultades en las mediciones o que no haya correlación entre la medición de un sensor y otro.

En cambio si la separación entre geófonos es muy pequeña la correlación tiempo-distancia entre dos picos producidos por un mismo debris puede resultar difícil o incluso imposible de identificar, hecho que no nos permitiría calcular la velocidad de la corriente. Esto es debido a que en el sustrato rocoso puede haber discontinuidades y no tiene porque llegar la mayor vibración al lugar que este situado a mínima distancia del frente, ya que la vibración se transmite por el sustrato rocoso y esta viajara mas rápido por las zonas macizas sin discontinuidades, fracturas etc.

Gracias a estudios anteriores se ha escogido una distancia intermedia entre sensores de de 100m aproximadamente. Una de las referencias que recomienda este valor es: *"Development of remotely controlled debris flow monitoring system in the Dolomites (Acquabona, Italy), Pia R.Tecca, Antonio Galgaro, Rinaldo Genovis and Andrea M. Deganutti"*.

Otro factor a tener en cuenta es que si se colocan los sensores en el mismo canal del debris, estos pueden ser destruidos por un corriente de derrubios dejándolos inhabilitados para la medición o incluso perdiendo los geófonos. Para evitar este hecho se colocarán los sensores en el sustrato rocoso más cercano posible al canal pero en una parte más elevada teniendo en cuenta que sea una zona donde no haya habido debris recientes.

Esta elección se puede realizar a través de una evaluación visual, una forma fácil de reconocer si ha habido un debris reciente es mediante los árboles. Hay que buscar zonas donde los árboles no sean demasiado jóvenes ni que estos tengan heridas producidas por bloques.

4.2.4.1 Problemática en campo

4.2.4.1.1 Interferencias debidas a la lluvia

En una primera instrumentación del monitoreo de uno de los barrancos, concretamente el de Ensija, los geófonos iban dentro de una caja metálica herméticamente cerrada e incluyendo bolsitas para la absorción de la humedad para proteger la placa de circuito impreso que controla el señal percibido por el geófono y lo envía al data logger.

En la siguiente imagen podemos ver lo descrito anteriormente.



Ilustración 43: Geófono y circuito impreso en caja metálica.

El problema de esta primeriza solución es que debido a la sensibilidad del geófono y a la rigidez de la caja metálica, cuando llueve, o peor aun cuando graniza, el geófono registra una alta vibración como si hubiese un evento de corriente de derrubio. Y como este tipo de evento ocurre cuando llueve, estos datos pueden confundirnos ya que tendremos lluvia y vibraciones, que evidentemente es lo que esperamos en una medición real de un corriente de derrubios o incluso puede ocultarse la vibración del debris o hacerla mas difícil de ver debido a la vibración provocada por la lluvia o granizo.

Esto hecho se solucionó, colocando esta caja metálica dentro de una cobertura de plástico que no estuviera en contacto directo con el geófono, así pues, con este nuevo montaje el geófono solo registrara las vibraciones que de verdad interesan para el estudio, es decir las que se transmitirán debido a las pesadas rocas que van chocando en su curso descendente por el debris flow.

Con esta solución se ha conseguido un correcto filtro para vibraciones no pertenecientes al debris, excepto obviamente que un excursionista de golpes en la caja, o algún animal pase corriendo cerca del geófono. Pero este hecho es poco probable que pase en los 4 geófonos a la vez y además mientras llueve, por tanto se acepta como solución correcta.

En la siguiente imagen se puede ver la caja de plástico para protegerlo de la susodicha vibración provocada por lluvia o granizo.

La caja ha sido adaptada en el laboratorio-taller de mecánica de rocas de la escuela de caminos para poder pasar el cableado por ella.



Ilustración 44: arriba; geófono con caja de protección metálica. Debajo; caja de protección de plástico contra las vibraciones provocadas por la lluvia o granizo.

Para asegurarnos que los geófonos detectarán las vibraciones provocadas por el debris flow se deben hacer varias pruebas.

La primera sencillamente es ver si el circuito funciona, esto se puede realizar sencillamente dando unos suaves golpes en el sensor y viendo que el CR1000 guarda un valor de vibración.

Para una posterior calibración más fina se han escogido tres tamaños de bloques, igualmente que en el la calibración del laboratorio, y se lanzan en el canal principal para comprobar que los geófonos registran datos igual que se hacia en el laboratorio.

4.2.4.1.2 Excesiva amortiguación del la vibración

Después de analizar los datos, se ha advertido que los geófonos del barranco de Senet se encuentran demasiado alejados del canal principal y esto hace que la vibración de la posible corriente de derrubios no se registre. Por tanto se ha propuesto para la temporada de debris de primavera-verano una nueva colocación de estos geófonos, de forma que se sitúen más cerca del canal, asumiendo el riesgo que hay de que estos se pierdan si hay un fenómeno de mediana envergadura.

5. ANÁLISIS Y COMPROBACIÓN DE DATOS PRELIMINARES

5.1 INTRODUCCIÓN Y PROBLEMÁTICA

Una vez realizadas las instalaciones de monitoreo y se ha empezado a almacenar datos se tienen que comprobar que sean coherente y extraer resultados, y aquí empiezan una serie de problemas relacionados con los sensores.

Desde varios días a semanas e incluso meses después de la instalación de la instrumentación en cada uno de los barrancos ha habido varias incidencias. Los problemas que se han encontrado en la instalación y que se ha de tener en cuenta para instalaciones posteriores han sido:

- Fallo en el termómetro de la estación meteorológica.
- Incorrecta lectura del ultrasonidos (calibración I)
- Fallo en la sensibilidad de los geófonos del barranco de Senet.
- Agotamiento de una de las baterías con la correspondiente pérdida de datos.
- Disparo del modo evento sin que haya habido un debris flow.

Para solventar estos problemas, durante el invierno 2009-2010 se trajo un ultrasonidos para calibrarlo (calibración II, apartado 3.1.4.3), también se hizo una nueva calibración de los geófonos, se propuso una instalación de una placa fotovoltaica en paralelo para asegurar tensión en la instalación y se repasó el programa del data logger para que el modo evento dispare de forma acertada.

De los primeros meses de instalación no se disponen de todos los datos de forma correcta, pero aún así se ha podido estudiar la precipitación que ha habido y si ha sido o no desencadenante de una corriente de derrubios. Este dato es interesante para poder establecer las curvas intensidad-duración y consecuente suceso del debris flow.

A continuación se muestran fotografías testimonios de eventos que ocurrieron en los primeros meses de instalación en ambos barrancos

5.2 DEBRIS FLOW EN EL BARRANCO DE SENET

Tras dos salidas a campo en el barranco de Senet, una realizada en julio, y la otra en octubre, se vio mediante fotos que había habido un cierto avance de los bloques de granito de componen el depósito coluvial del debris, tal y como se muestra en la siguientes imágenes:



Ilustración 45: fotografías aguas abajo. Fotografía de la izquierda realizada en julio y la de la derecha en octubre.

En la anterior ilustración se puede ver que ha habido transporte de sedimento, se observa el gran bloque situado en la parte derecha cortado por el final de la fotografía de octubre que anteriormente no estaba. Y bolos de menor tamaño que han debido ser arrastrados por una corriente de derrubios.

Los cambios más significativos se observan en la siguiente ilustración. Véase como ha variado la composición del depósito entre los meses de julio y octubre. Además hay que tener en cuenta que muchos de los bloques movilizados pueden pesar entre 1 y 3 toneladas.



Ilustración 46: Fotografías aguas arriba. La de la izquierda es del mes de julio y la de la derecha fue tomada en octubre.

Según los datos disponibles de Senet y después de su análisis que se muestra posteriormente en este trabajo se cree que el evento tuvo lugar el 07/08/2009

Pero debido a errores de lectura por parte de los geófonos y ultrasonidos no se han podido cuantificar las velocidad y la cantidad de material movilizado.

5.3 DEBRIS FLOW EN ENSIJA

Igualmente que ocurrió en Senet, en el barranco de ensija no se registro un debris claramente pero hay evidencia de que hubo un suceso tal y como muestran las siguientes imágenes.



Ilustración 47: Canal principal en agosto



Ilustración 48: Canal principal en octubre

Se observa que se ha amontonado bastante cantidad de material y se han movilizado bloques de tamaño muy grande.



Ilustración 49: Canal principal aguas arriba en agosto



Ilustración 50: Canal principal aguas arriba en octubre

En estas dos imágenes también se observa un cambio de agosto a octubre producido por el evento.



Ilustración 51: Canal principal aguas abajo en agosto



Ilustración 52: Canal principal aguas abajo en octubre.

Con el estudio de las lluvias se intentará concretar la fecha de los debris de Senet y Ensija, ya que en el momento que ocurrieron había problemas técnicos en geófonos y ultrasonidos y se tienen pocos datos.

5.4 CONCLUSIÓN RESPETO LOS DATOS PRELIMINARES

Aunque 6 meses es poco tiempo para un estudio eficiente de corrientes de derrubios, principalmente porque se tienen pocos datos de eventos y tormentas, en las siguientes páginas de esta tesina se hace un análisis de las lluvias y eventos y se deja constancia de la metodología que se debería seguir durante los siguientes años del proyecto DEBRIS-CATCH, o se podría usar por parte de otros investigadores.

6. ESTUDIO DE LAS LLUVIAS

Recordemos que el desencadenante principal de un debris flow es sobretodo la lluvia. Por eso esto apartado se centra en explicar el estudio de las lluvias y o tormentas que han tenido lugar en cada una de las dos cuencas.

6.1 DEFINICIÓN DE TORMENTA

Para poder distinguir claramente lo que es una tormenta y como poder separar una tormenta de otra con relativa proximidad temporal hay que definir ciertos parámetros.

Para ello se ha escogido de referencia:

El artículo: "MARCHI Lorenzo, ARATTANO Massimo, M. DEGANUTTI Andrea. (2001). Geomorphology. *Ten years of debris-flow monitoring in the Moscardo Torrent*"

En el que se estudian las precipitaciones durante mas de 8 años de una cuenca alpina donde hay mucha actividad en temas de corrientes de derrubios.

Y las recomendaciones de otros autores (Cannon & Ellen 1985, Wieczorek 1987, Govi & Sorzana 1980, Honglian & Xiangxing 2988)

- Precipitación de la tormenta deberá ser tal que se superen los 10 mm

En el estudio de la cuenca italiana no hubo ningún evento con lluvias inferiores a 20 mm, pero debido que nuestra cuenca esta situada en el pirineo y por lo tanto llueve menos, así como para estar del lado de la seguridad, se ha escogido un valor inferior pero de un orden de magnitud similar y este es de 10mm.

- Intensidad máxima horaria ha de ser superior a 10 mm/h

La elección de este valor se basa en que en el estudio anteriormente citado no hubo ningún debris flow que se generase con una intensidad menor a 12,5mm/h. Así pues en una primeriza fase de estudio de nuestras cuencas del pirineo oriental se toma un valor de

10mm/h. Aunque en el caso de que haya una corriente de derrubios con un valor inferior de intensidad se podrá tener en cuenta desde entonces.

- Separación temporal entre dos tormentas diferentes consecutivas superior a 6 horas con lluvias entre ellas de precipitación inferior a 0,2mm.

Esta elección también se basa en el estudio citado. Y el tiempo entre tormentas es relativamente corto para tener en cuenta las intensas y cortas lluvias que son propensas a desencadenar un evento y tratarlas por separado.

Para tener una idea, en ingeniería marítima este periodo entre tormentas normalmente resulta escogerse de 2 días para el mar Mediterráneo.

6.2 VARIABLES A DESTACAR DE CADA TORMENTA

El desencadenante principal de un debris son las lluvias, pero estas lluvias han de ser de una cierta durada e intensidad. Cuanto mayor sea el valor de estas variables, más erosión habrá y se movilizará más cantidad de material habiendo más probabilidad de formar una corriente de derrubios.

La precipitación antecedente a una tormenta también es un factor importante, pues si ha llovido recientemente el suelo estará saturado y la escorrentía superficial será mayor que en una situación en la que el suelo este seco. Pues habrá una infiltración hasta saturarlo y se perderá escorrentía y consecuentemente para una misma lluvia la probabilidad de formar un debris disminuirá.

Las variables y unidades que se utilizaran de cada tormenta para el estudio de su influencia en la formación de debris flow son:

- Intensidad máxima (mm/h)

- Intensidad media (mm/h)
- Duración de la tormenta (h)
- Precipitación (mm)
- Lluvia antecedente en un día y en una semana

6.3 LÍNEA UMBRAL DE LLUVIA GENERADORA DE UNA CORRIENTE DE DERRUBIOS.

Para mirar la intensidad media se utilizaran las curvas de hidrología intensidad duración. Para cada tormenta que este dentro del criterio de selección de desencadenante de un debris tendremos una curva. Superponiendo estas curvas y marcando las que sí que han provocado un debris se obtendrá un umbral más o menos como en la siguiente figura:

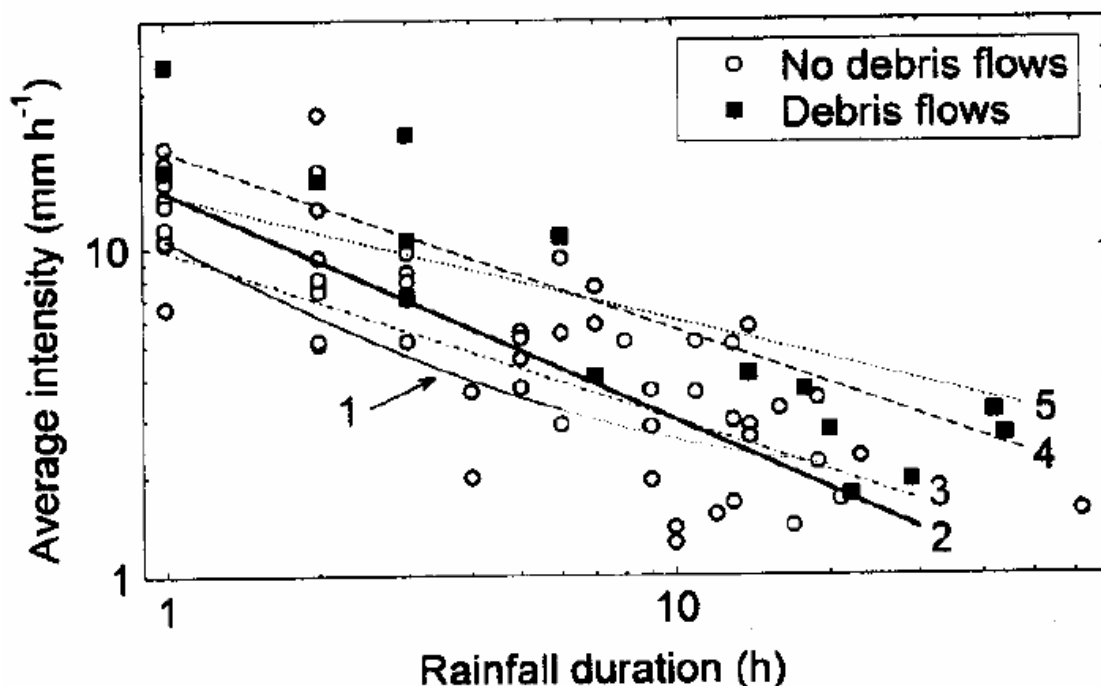


Ilustración 53: Ejemplo de curva umbral a partir de la cual se inician los debris

Obviamente esta curva no es algo exacto, hay tormentas que la superan y no han producido debris, pero lo importante es que por debajo de la curva no haya un debris. Así pues se podría desarrollar un sistema de aviso mediante medición de la lluvia para evitar peligro de accidentes en zonas o carreteras que estén situadas en el cono de deyección de un debris.

Ya ha habido estudios sobre líneas umbrales de lluvia por autores tales como Caine y Gutzetti. Los cuales han estudiado varias cuencas en las que se producían numerosos eventos de corrientes y han obtenido una línea umbral media que contempla todas las cuencas. Lo que pasa que al concretar una línea global la precisión disminuye y un sistema de aviso que se base en una curva global provocaría muchas falsas alarmas. Por ese motivo también han establecido líneas regionales o locales para cuencas de una región cercana y características similares.

Sería interesante contemplar en futuras instalaciones de monitoreo las presiones de agua utilizando piezómetros y mirar las redes de flujo con el objetivo de establecer igualmente un sistema de alarma de debris

7. ESTUDIO DE LAS LLUVIAS Y CORRIENTES DE DERRUBIOS EN EL PIRINEO ORIENTAL TEMPORADA JULIO-DICIEMBRE 2009

Debido a que esta Tesina se realiza durante el primer año del proyecto DEBRIS-CATCH y por lo tanto han habido pocos eventos y tormentas importantes, se hará una análisis conjunta de las dos cuencas de Ensija y Senet.

Posteriormente cuando haya más datos se podrán realizar estudios diferenciando entre cuencas.

7.1 RESUMEN DE EVENTOS Y LLUVIAS

A continuación se muestra un cuadro resumen de los disparos del modo evento durante el periodo de 6 meses comprendido entre julio y diciembre del 2009.

En esta tabla también se incluyen los falsos disparos que sabemos seguro que no produjeron un debris flow debido a que no había lluvia en un entorno temporal cercano a la fecha del disparo. Pero se tuvieron en cuenta para la depuración de errores del programa que gobierna el data logger, ya que vibraciones de 20 pulsos por segundo no deberían haber disparado el modo evento y lo han hecho.

La tabla resumen de disparo del modo evento de Ensija es la siguiente:

Tabla 1: Resumen de disparos de modo evento en el barranco de Ensija. Julio-Diciembre 2009

	TIMESTAMP DISPARO	TRIGGER	DURA- CION (s)	GEO	nº IMPULSOS MAX	DAILY RAIN	HOURLY RAIN	LLUVIA EN EVENTO[mm]
JUL.	06/07/2009 12:05	GEO	65400	2 i 4	7999	-	-	95
	30/07/2009 12:10	GEO	7200	1 i 2	1350	0	0	0
AGO.	24/08/2009 9:39	GEO	120	1	21	NO DATA	NO DATA	NO DATA

	27/08/2009 15:06	GEO	2700	1 i 2	541	NO DATA	NO DATA	NO DATA
SET.	08/09/2009 15:50	GEO	1	1 i 2	83	NO DATA	NO DATA	NO DATA
	23/09/2009 8:39	GEO	5	1	852	0	0	0
	23/09/2009 11:11	GEO	7	1,2, i 4	3	0,2	0,1	-
	23/09/2009 11:38	GEO	10	1,2, i 4	2	0,2	0,1	-
	23/09/2009 11:57	GEO	45	1,2, i 4	1	0,2	0,1	-
	23/09/2009 14:29	GEO	2	1,2 i 4	21	0,2	0	0
	23/09/2009 14:34	GEO	24	1,2 i 4	1	0,2	0	0
	24/09/2009 10:07	US	45	-	-	0	0	0
OCT.	01/10/2009 15:34	GEO	210	1	25	1,4	0,4	0,1
	11/10/2009 11:36	GEO	2	1	111	0	0	0
	23/10/2009 11:38	GEO	498	1,2 i 4	183	NO DATA	NO DATA	NO DATA
	23/10/2009 16:23	GEO	147	3	214	NO DATA	NO DATA	NO DATA
	23/10/2009 16:43	GEO	75	3	62	NO DATA	NO DATA	NO DATA
	29/10/2009 13:18	GEO	1	3	35	0	0	0
NOV.								
DIC.								

Timestamp disparo indica la fecha y hora a la que disparó el modo evento.

Trigger, hace referencia a si el modo evento disparó debido a una vibración registrada por los geófonos (GEO) o si en cambio disparó por una variación en el calado registrada por el ultrasonidos (US).

La categoría GEO muestra cuales fueron los geófonos que registraron vibración. Recuérdese que el 1 corresponde al geófono situado en la parte superior del torrente y 4 el de la parte inferior.

Duración, es el tiempo que se estuvo detectando vibración en el caso que disparara por geófonos o el tiempo que estaba grabando datos en el caso de un disparo por ultrasonidos.

Daily rain, hourly rain y lluvia en evento hacen referencia a la lluvia, si es que la hubo, en ese periodo temporal.

Las casillas que están marcadas con (-) son valores irrelevantes o que no tienen sentido, por ejemplo para duraciones de muy pocos segundos.

NO DATA indica que no hay datos. Normalmente esto ha sido debido a fallo en las baterías, o por agotamiento de estas.

La tabla resumen en Senet es la siguiente:

Tabla 2: Resumen de disparos de modo evento en el barranco de Senet. Julio-Diciembre 2009

	DISPARO TIMESTAMP	TRIGGER	DURACION (s)	GEO	nº IMPULSOS MAX	DAILY RAIN	HOURLY RAIN
JUL.							
AGO.	06/08/2009 23:56	GEO	1	1	40	1,5	-
	07/08/2009 13:08	GEO	900	1	340	71,9	30
	07/08/2009 15:21	GEO	900	1 i 4	240	71,9	
	24/08/2009 18:22	GEO	0,1	1	21	3,2	1,8
SET.	01/09/2009 19:18	GEO	45	1 i 4	40	40,3	7,2
	05/09/2009 11:39	?¿	-		0	0	0
	14/09/2009 9:11:55	?¿	-		0	0	0
	15/09/2009 11:10:19	?¿				0,8	0
	16/09/2009 15:54:13	?¿				11,1	8,8
	21/09/2009 12:05:25	US	120			0,2	0
	21/09/2009 14:17:37	US	120			0,2	0
	21/09/2009 14:55:00	US	120			0,2	0
OCT.	02/10/2009 13:41:00	US	120		0	0	0
	11/10/2009 9:55:30	US	120		0	0	0
	11/10/2009 10:29:42	US	120		0	0	0
	12/10/2009 8:03:09	US	120		0	0	0
	12/10/2009 12:48:21	US	120		0	0	0
	12/10/2009 15:48:45	US	120		0	0	0
	12/10/2009 16:18:57	US	120		0	0	0
	12/10/2009 19:50:09	US	120		0	0	0
	12/10/2009 21:54:00	US	120		0	0	0
	15/10/2009 11:32	US	120		0	0	0
	15/10/2009 12:21	GEO	670	1	21	0	0
	15/10/2009 13:50	US Y GEO	3500	1,2 i 3	179	0	0
	16/10/2009 13:53	US Y GEO	-	2 i 3	121	0	0
	21/10/2009	US Y		1,3 i	21	62,9	9,4

	0:49	GEO		4			
	21/10/2009 3:35:30	GEO	-	1,3 i 4	i	4	
	22/10/2009 15:37:20	GEO	-	1,3 i 4	7		
NOV.							
DIC.							

Una vez tenemos detectados los disparos de eventos hay que corroborar si estos han producido una corriente de derrubios. Para ello contrastamos los disparos con las lluvias.

Para el análisis de debris flow se incluyen tres categorías:

- Evento
- No evento
- Posible evento

En otros estudios y artículos de monitoreo de corrientes de derrubio no se encuentra la categoría "posible evento", pero debido que en el primerizo año del proyecto DEBRIS-CATCH han habido una serie de errores y complicaciones como se han explicado en apartados anteriores, y hubieron sensores que fallaron. Ha habido veces que se ha registrado vibración de algún sensor con fuertes lluvias, sin tener tampoco lectura del ultrasonido. Pero como se ha visto en las fotos, sabemos seguro que ha habido corrientes de derrubios. Por tanto se incluye una categoría de "posible evento" cuando se sospecha de que haya podido ocurrir un debris. Posteriormente con un análisis gráfico, algunos de los "posibles eventos" se podrán descartar o reafirmar como evento seguro.

A continuación se muestra el cuadro resumen de tormentas en el análisis conjunto de las dos cuencas del Pirineo Oriental.

Tabla 3: Tabla resumen de tormentas del pirineo oriental.

Mes	Inicio Tormenta	Duración (h)	Lluvia Total	I _{max} (mm/5min)	I _{max} (mm/h)	I _{media} tormenta (mm/h)	1 día	1 semana	Evento-trigger	Probabilidad
ENSIJA										
JUL.	01/07/2009 14:00	2,5	33,5	5	60	13	NO DATA	NO DATA	no	nula
	06/07/2009 7:55	21	93,7	10,2	122	4,5	4	35,4	GEO	alta
AGO.	01/08/2009 19:00	1	14,89	4,3	52	15	0	0	no	nula
	07/08/2009 17:30	2	30,4	5	60	15	0	15,7	no	nula
SET.	-									
OCT.	-									
NOV.	-									
DIC.	-									
SENET										
AGO.	01/08/2009 16:40	0,917	32,2	6,3	76	35	0	0	NO	nula
	06/08/2009 23:45	1,91	9,5	1,2	14	5	0	33	GEO	media
	07/08/2009 12:10	8,4	63,9	5,9	71	7,6	9,5	43	GEO	alta
	08/08/2009 13:00	15,3	68	5,1	61	4,4	60,7	107	NO	nula
SET.	01/09/2009 17:15	4,7	39,6	7	84	8,4	0	5,7	GEO	media
OCT.	20/10/2009 12:35	21	85	1,7	20	4	0	0	NO	nula
NOV.										
DIC.										

7.2 ESTUDIO GRÁFICO

7.2.1 Comparación de las lluvias del Pirineo Oriental con otros estudios

Agrupando todas las tormentas con la distinción de las 3 categorías en función de si la posibilidad de que haya habido un debris es muy alta (evento, color rojo) si esta es media (posible evento, color naranja) o si es nula (no evento, color verde). Obtenemos este gráfico durada intensidad de las lluvias, al cual también se le han añadido 3 curvas de otros investigadores.

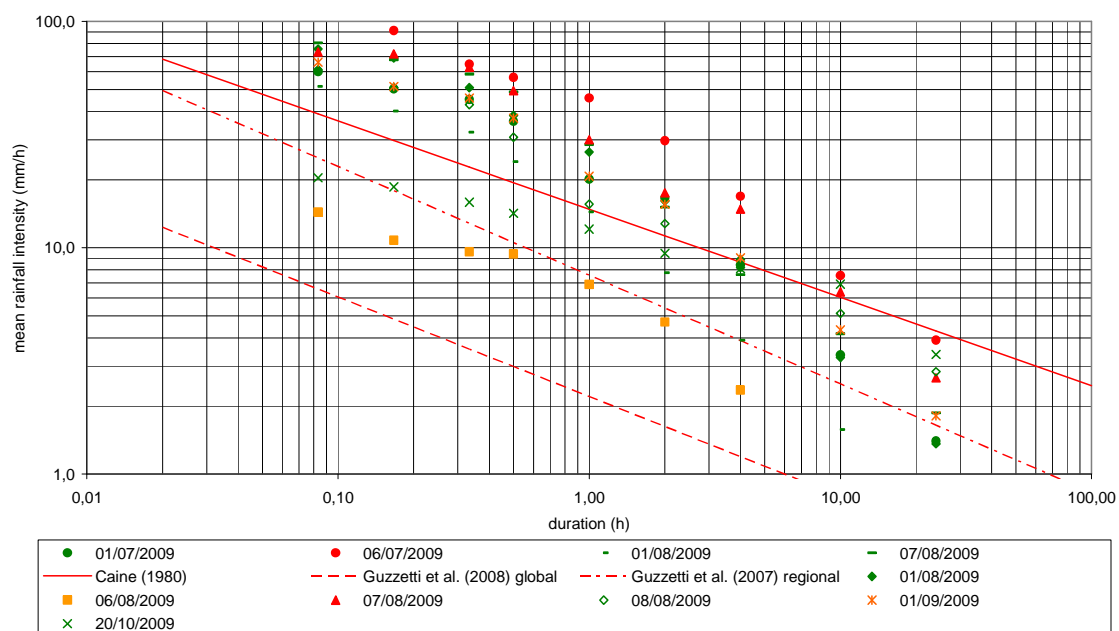


Ilustración 54: Gráfico de las lluvias del Pirineo Oriental y curvas umbral de otros investigadores

La curva global de Guzzetti et al. (2008) tiene en cuenta todas las cuencas del mundo por tanto es una curva de baja precisión ya que en algunos lugares se darán derbis con lluvias inferiores y en otros sitios estas lluvias deberán ser mucho mas intensas y de mayor duración. Todas las tormentas de la temporada Julio-Diciembre 2009 están por encima de esta curva, hayan o no producido una corriente de derrubios.

La curva Regional Guzzetti et al. (2007) se basa en estudios de las cuencas de una región, concretamente la zona de los Alpes italiano-suizos, como el estudio es de una región cercana con una cierta constancia en el tipo de lluvias y geología pudieron ajustar esta recta a una nube de puntos que tenia menos dispersión y por tanto tiene mas precisión que la global. Se puede ver que las lluvias del Pirineo Oriental están por encima y por debajo de esta curva, aunque las marcadas como evento están aún por encima.

La curva de Caine en cambio si que esta por encima según en que zona del gráfico de las lluvias que han producido debris flow.

Por tanto habrá que ajustar una curva límite de intensidad-duración de lluvias a partir de la cual la probabilidad de que haya un debris sea muy elevada. Pero antes habrá que estudiar

otros gráficos y ver si podemos descartar o pasar a la categoría de eventos los posibles eventos.

7.2.2 Gráficos Intensidad media y máxima de la tormenta vs. Duración

Este gráfico es muy usado también en el estudio de corrientes de derrubio, en nuestro caso es el siguiente:

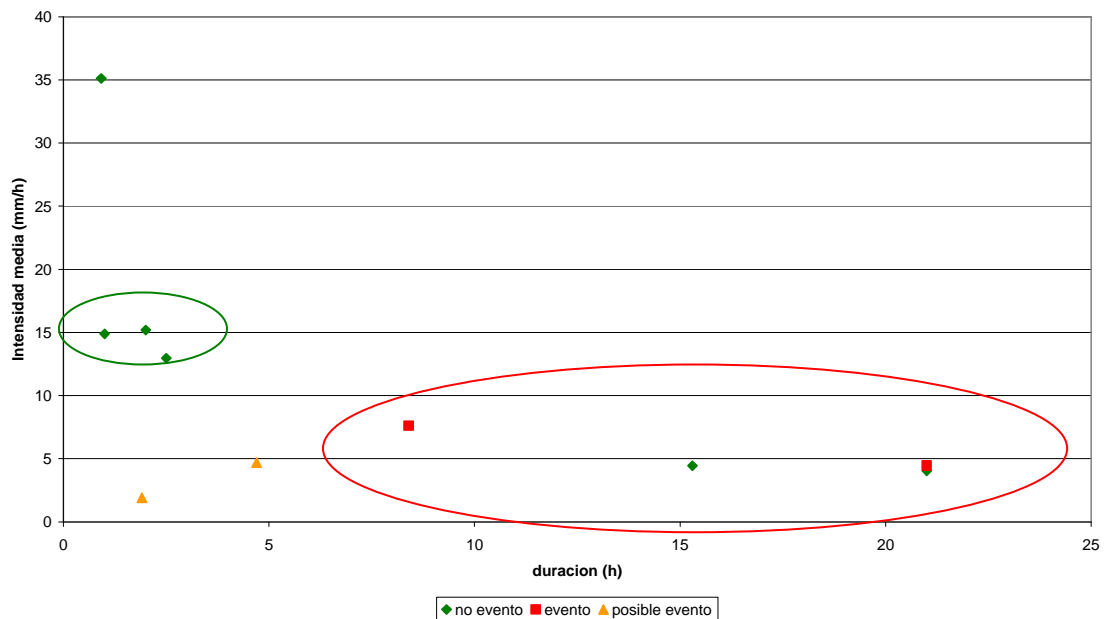


Ilustración 55: Gráfico intensidad media vs. Duración tormenta

La disposición de los puntos coincide con la lógica. Las tormentas que provocaron debris flow son las de más duración (elipse roja). Pero en cambio se puede observar que la intensidad media no afecta tanto, al menos con los datos disponibles. Para poder observar el efecto de la intensidad obsérvese el siguiente gráfico intensidad máxima duración de la tormenta:

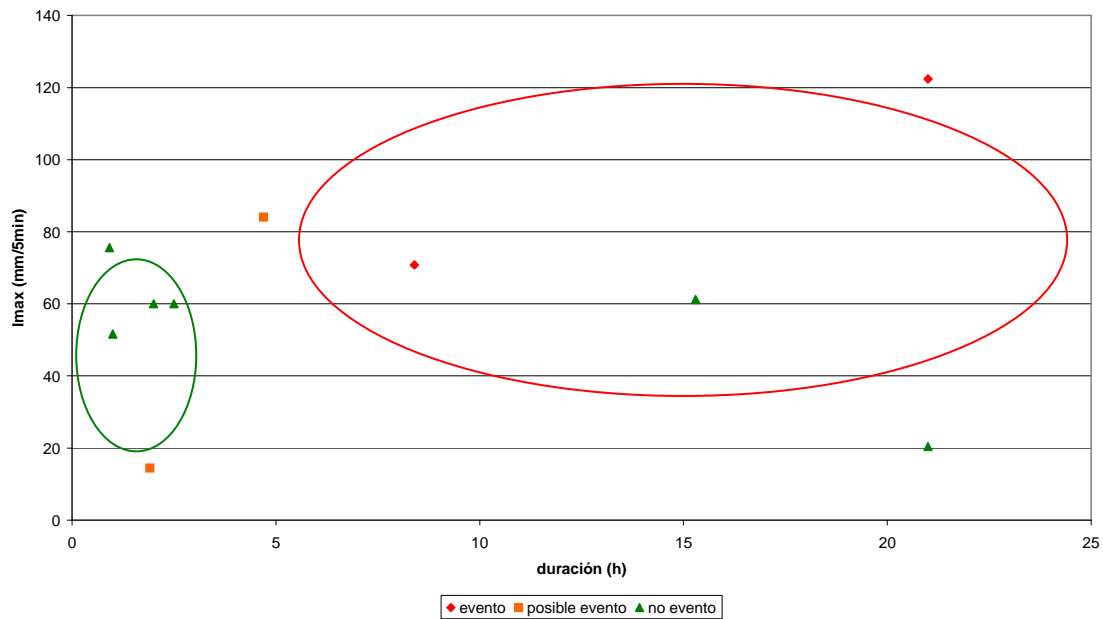


Ilustración 56: Gráfico intensidad máxima vs. Duración de la tormenta

Cuando se observa la intensidad máxima si que se observa que esta tiene más peso en el caso de lluvias que produzcan debris flow.

Por tanto de estos dos gráficos podemos sacar como conclusión que las lluvias con tendencia a provocar debris flow son las de mayor duración y mayor intensidad máxima, en cambio la intensidad media no es un valor relevante.

Respecto al análisis de posibles eventos se observa que hay un punto que esta situado en la zona de transición, este corresponde a la tormenta del día 01/09/2009 en Senet. El cual apunta más a ser un evento que no una falsa alarma.

En cambio el que esta situado en la parte inferior de la elipse de color verde tiene más posibilidades de ser una falsa alarma.

7.2.3 Gráfico duración lluvia vs. Precipitación total

Veamos como afecta a que haya un evento de corriente de derrubios en función del tipo de lluvia en cuanto a duración de la tormenta y la precipitación total.

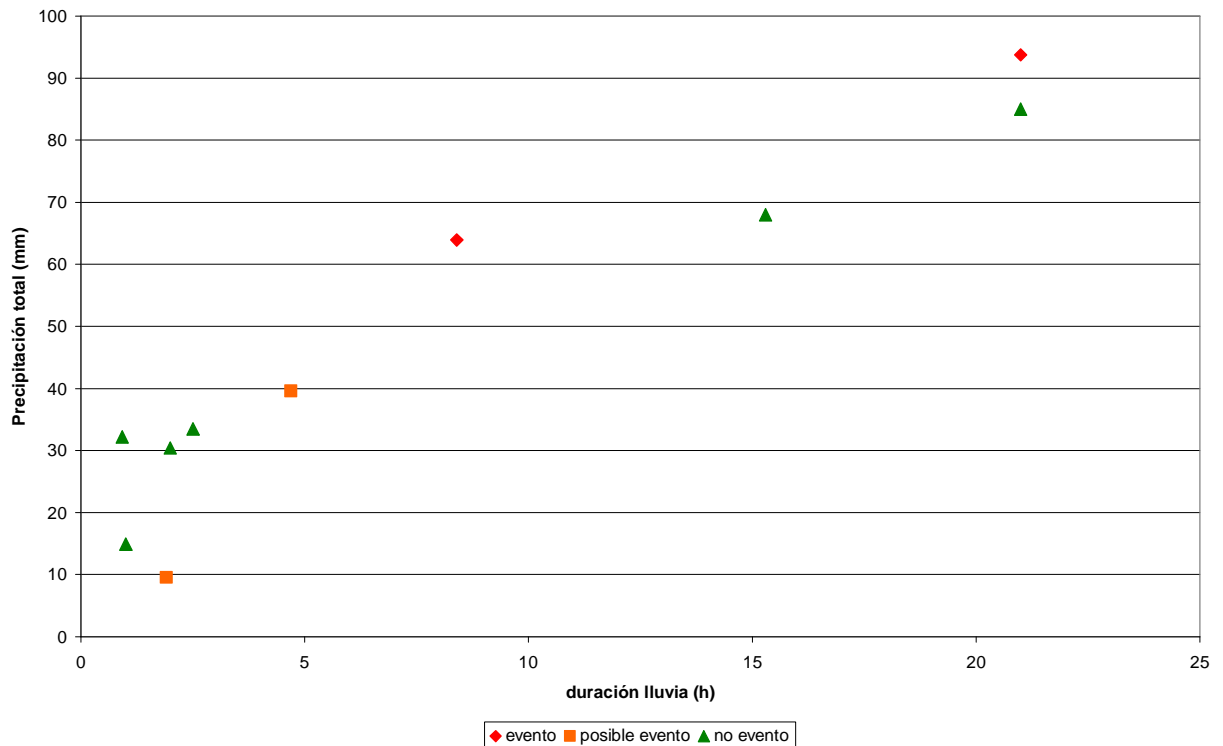


Ilustración 57: Gráfico Precipitación total vs. Duración de la Tormenta

Se aprecia por el gráfico una cierta tendencia a que las lluvias necesarias para que haya un debris han de ser largas y con mucha precipitación. Pero igualmente también se puede ver que ha habido un par de lluvias largas y con mucha precipitación que no han provocado un evento. Por tanto de momento, con esta disponibilidad de datos no parece que haya una tendencia muy marcada, es mejor mirar otros gráficos donde si que hay más separación entre eventos y no eventos.

7.2.4 Gráfico intensidad máxima vs. Intensidad media.

A continuación se muestra el gráfico intensidad media respecto la intensidad máxima de la tormenta.

La intensidad media da una idea de lo "cuadrado" que resulta el histograma de lluvia.

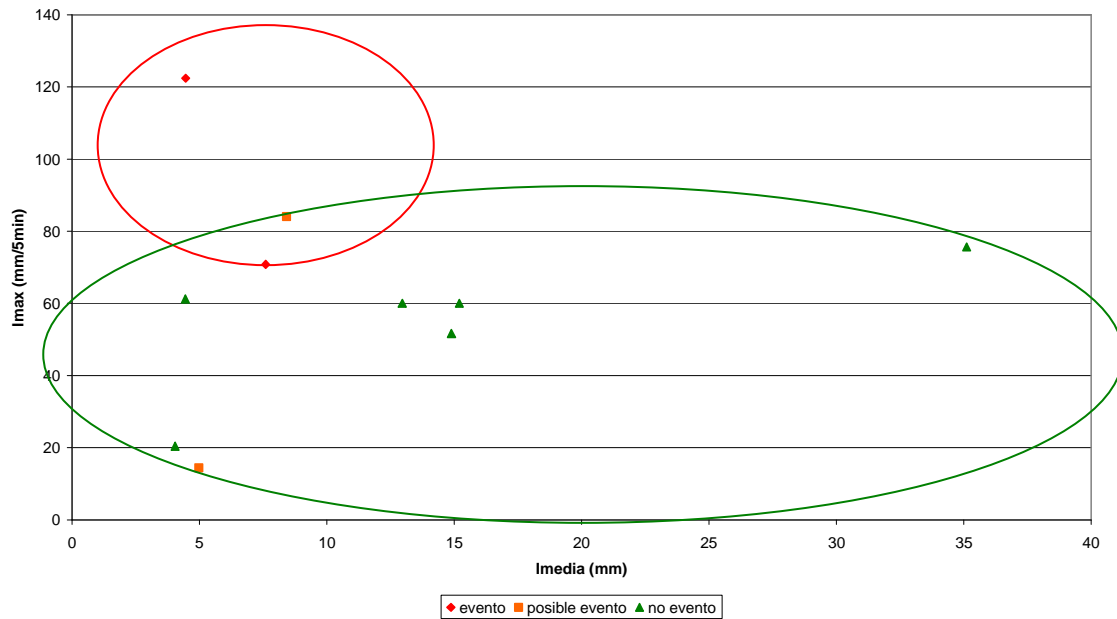


Ilustración 58: Gráfico Intensidad máxima vs. Intensidad media

Se observa que la intensidad máxima es un valor clave en cuanto a la formación de la corriente de derrubios, pero se aprecia también que la intensidad media es de valores bajos. Esto significa que para formarse debris interesan histogramas muy poco cuadrados, es decir, muy puntiagudos, con un pico muy alto de intensidad máxima.

Es decir que para una misma cantidad de precipitación, para ser propicias las condiciones de formación de debris flow, esta tendría que caer lo más deprisa posible para ser más erosiva.

Se observa otra vez el punto de posible debris del 01/09/2009 que esta en la zona de eventos. Y el otro punto del día 06/08/2009 que casi seguro es una falsa alarma.

7.2.5 Gráficos en función de la lluvia antecedente

Recuérdese que se comentó que la lluvia antecedente era un factor importante. Si hay una tormenta y el suelo no esta saturado, parte del agua se transformará en flujo subterráneo, y no habrá tanta escorrentía, es decir, erosionará menos y las probabilidades de que haya un debris serán menores. Veámoslo a partir de la precipitación antecedente de una semana y un día.

El siguiente gráfico muestra la intensidad máxima sesenta minatural de la tormenta en función de la precipitación total de lluvia en el periodo de una semana antes de que esta ocurriese.

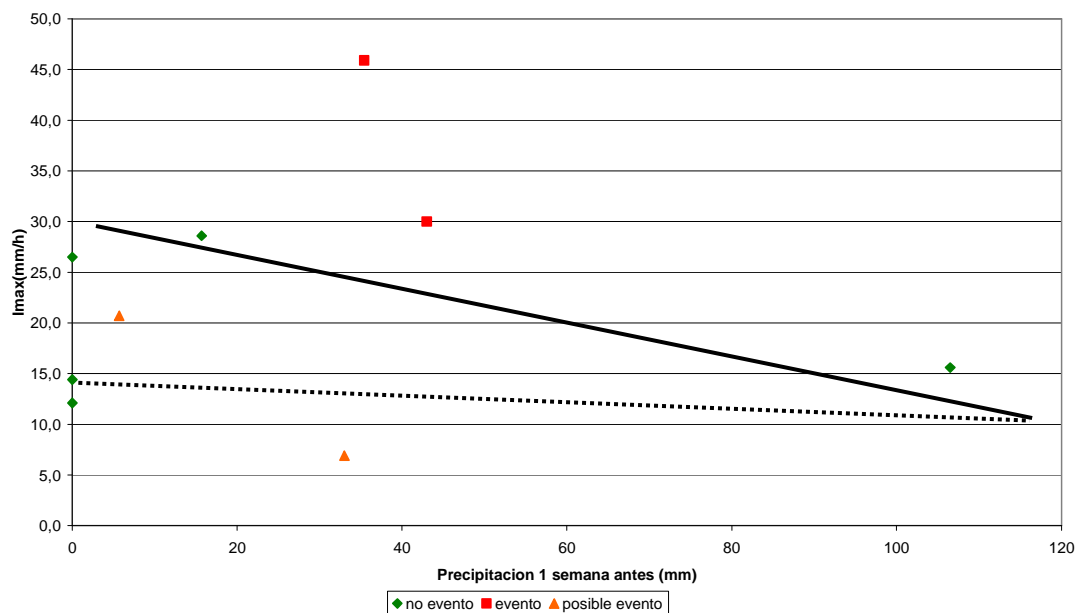


Ilustración 59: Intensidad máxima vs. Precipitación una semana anterior

Se observa que en los dos eventos ha habido precipitación anterior, y también que la intensidad de la lluvia más elevada que en los episodios que no provocaron un evento o los de posible evento.

Se observa la separación de eventos y no eventos en función de si se tiene en cuenta la sospecha de que la tormenta del día 01/09/2009 en Senet provocara debris (línea punteada) o no lo provocase (línea continua).

De forma muy parecida ocurre en el gráfico donde las abscisas representan la precipitación que ha tenido lugar durante las 24 horas anteriores a una tormenta:

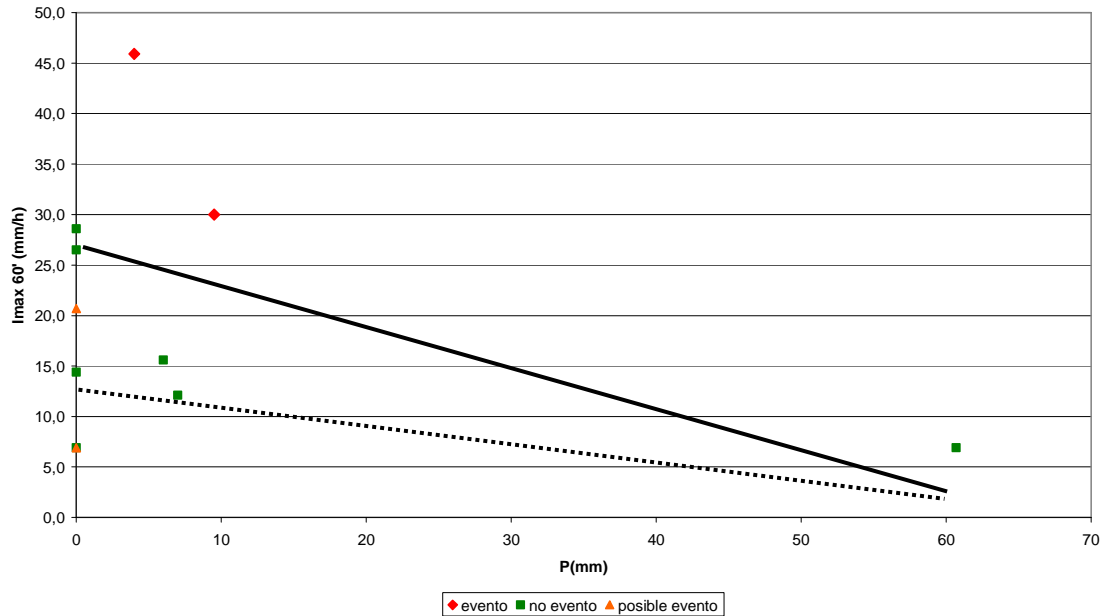


Ilustración 60: Intensidad máxima vs. Precipitación de un día antes.

Se puede ver que sí que hubo precipitación en los eventos pero en cambio en el punto que se sospechaba más que en lugar de posible evento podría ser un evento no hay precipitación antecedente alguna en el periodo de 1 día antes de la tormenta.

Pero no dejamos de seguirle dando más importancia y pensar que seguramente si que haya sido un evento a la tormenta de ese día.

7.2.6 Curvas umbral-zona umbral establecida para el Pirineo Oriental

A partir del análisis de precipitaciones y en función de si la tormenta del día 01/09/2009 se tiene en cuenta como evento en lugar de posible evento (línea punteada), se establecen dos curvas límite.

La ecuación para la curva punteada es:

$$y = -2.68 \cdot x + 66.2$$

Y la ecuación de la curva continua es:

$$y = -2.95 \cdot x + 73.4$$

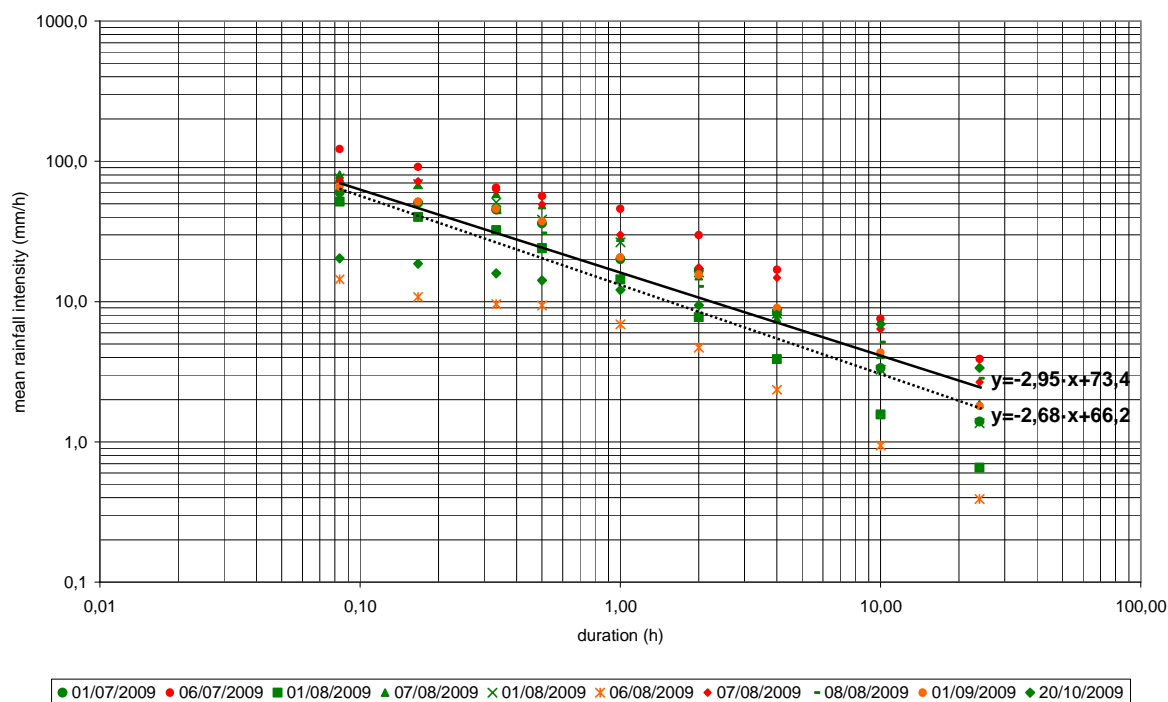


Ilustración 61: Curva intensidad-duración del Pirineo Oriental y Curvas Umbrales de la Tesina

La elección de estas curvas se ha hecho a partir de líneas rectas en el gráfico de escala logarítmica. La recta se fija en el plano de forma que en la parte superior derecha incluya inmediatamente después de ella todos los puntos que forman las curvas que se han considerado evento; en el caso de la línea punteada tenemos 3 eventos y en el caso de la línea continua tenemos 2.

Veamos un gráfico con las curvas de otros estudios y las propuestas en la tesina:

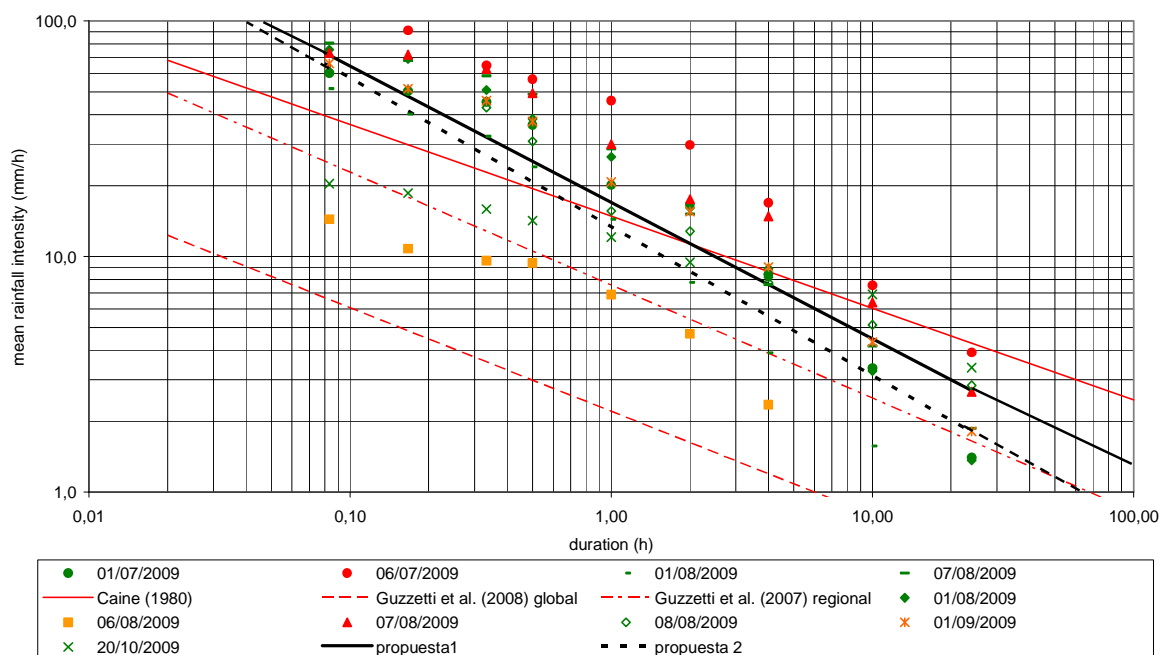


Ilustración 62: Curvas Umbral Pirineo Oriental vs. Otras curvas umbral.

Se observa que para duraciones pequeñas en el pirineo oriental a diferencia que en los Alpes (Guzzetti et al. regional) se necesitan lluvias de mayor para provocar un debris flow. Lo mismo ocurre con la curva de Caine y la de Guzzetti global. En cambio para duraciones de lluvia elevadas en el Pirineo Oriental parece que hay una cierta tendencia a necesitar lluvias de menor intensidad que las de los otros estudios.

7.3 ESTUDIO DETALLADO DE LOS EVENTOS

Veamos en cada uno de los eventos que si que podemos asegurar que ocurrieron todos los posibles datos que disponemos, teniendo en cuenta la falta de muchos por la indisponibilidad de sensores.

7.3.1 Evento en Ensija el día 06/07/2009 a las 7:55

A continuación se muestra un gráfico donde se han superpuesto la vibración del geófono en pulsos cada 5 minutos, pues en esas alturas del proyecto aún no se diferenciaba entre modo evento y modo no evento, y la lluvia que se puede ver en el eje secundario.

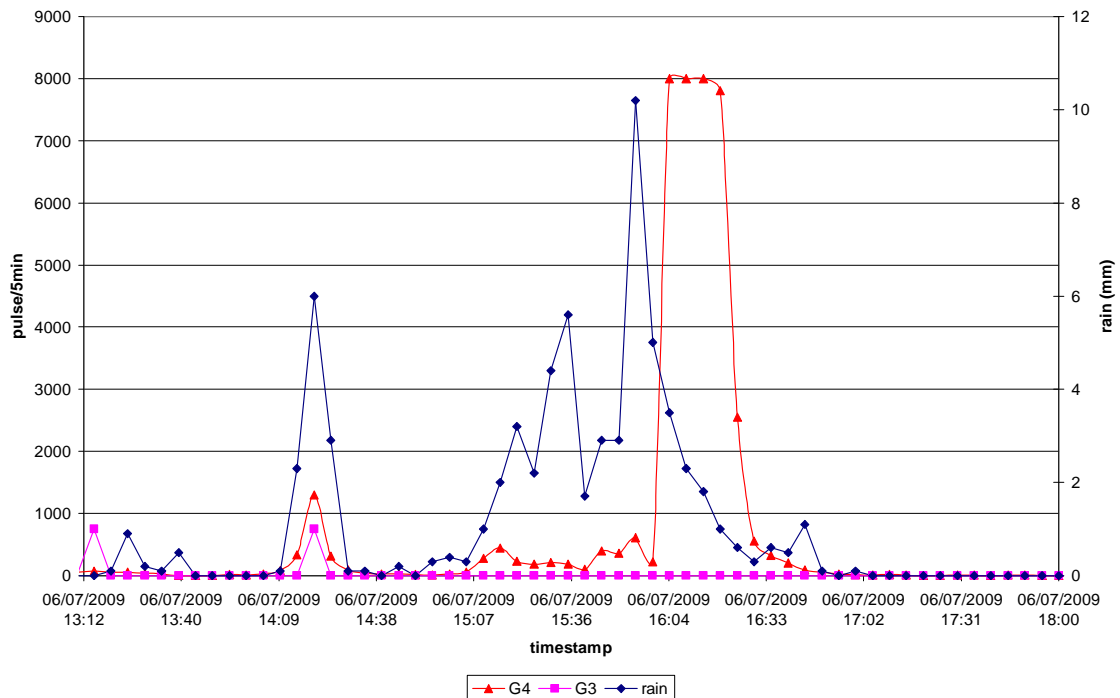


Ilustración 63: Gráfico de la evolución temporal de la pulsación de los geófonos y la lluvia durante el evento

Se observa que hay un primer pico de vibraciones entorno a las 14.00 h, esto podría ser debido a un flujo de escorrentía que arrastra pequeños clastos, vemos que los geófonos afectados son el geófono número 3 y el 4, a lo largo del tiempo se estabiliza pero entorno de las 15:00 h la vibración empieza a aumentar hasta que a las 16:00 h se dispara, es cuando tenemos el frente del debris, la fuerte vibración dura unos 17 minutos. En cambio el geófono 3 no registra vibración, puede ser debido a la sensibilidad del geófono y a que la mayor parte de debris sucediera en la parte inferior, que de hecho es donde se observó mayor movilización de sedimento y clastos.

Puede parecer un tiempo muy grande para un debris, pero tiene bastante lógica sobretodo después de ver las fotografías de las dos salidas a campo en Ensija, pues el cambio que había era muy significativo.

Otro aspecto interesante a contrastar es la lluvia acumulada; se observa que el debris se inicia prácticamente cuando se ha caído toda la precipitación e instantes después del pico de intensidad máxima (máxima erosión). Se inicia el debris con una precipitación acumulada de la tormenta de unos 65mm.

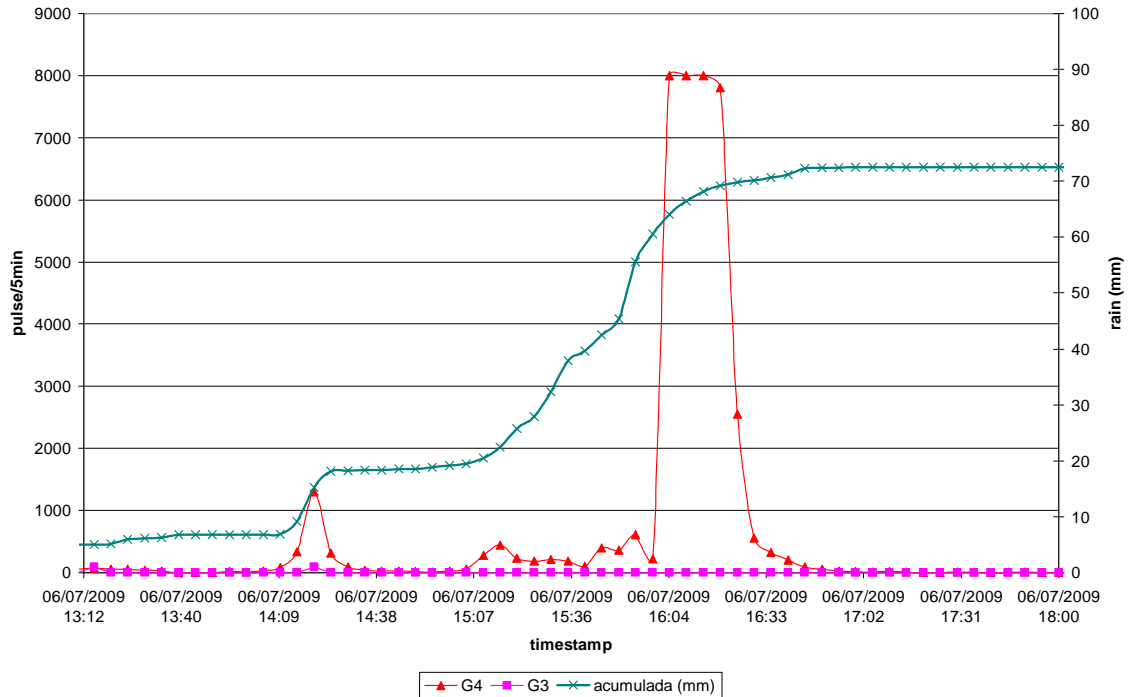


Ilustración 64: Gráfico de la evolución de la lluvia acumulada y la vibración del geófono

7.3.2 Evento en Senet el día 07/08/2009 a las 12:10

Cuando se produjo el evento de Senet en el mes de agosto sí que se disponía de una diferenciación de modo evento y modo no evento. El solape de gráfico de lluvia y pulsaciones por segundo de los geófonos es el siguiente:

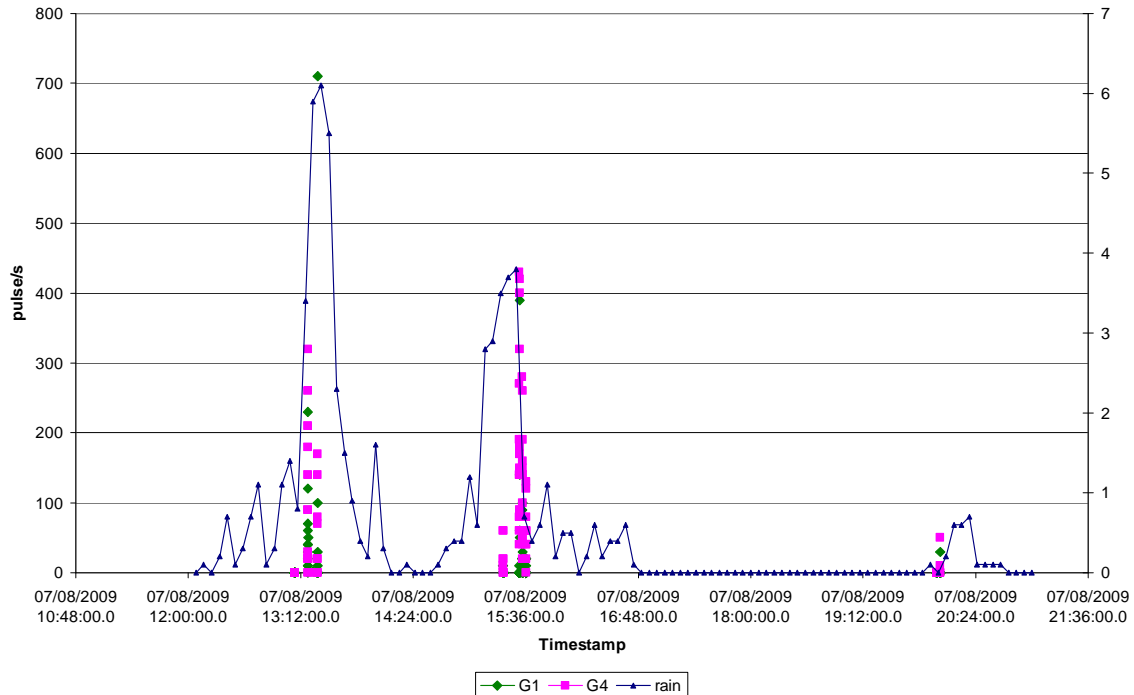


Ilustración 65: Gráfico de la evolución temporal de la lluvia y la vibración de los geófonos.

Se observa un empieza de debris sobre las 13:00 h, otro sobre las 15:30 h y finalmente un evento de menor energía entorno a las 20:00h con el inicio de la precipitación después de 3h sin lluvia. La tormenta empezó a las 12:10 h y el pico de intensidad máxima lo tuvo pasada la primera etapa de vibraciones. Una de las razones de que se produjera un evento tan rápidamente en lugar de que sucediera después de que casi toda la precipitación hubiera caído, puede ser debido a que este evento presentaba una precipitación de una semana anterior de 43mm, la segunda mayor de la lista de tormentas de la temporada verano-otoño 2009, y por tanto con poca lluvia se pudo haber activado el debris flow.

Además esto se confirma con el tercer episodio de debris flow, el de las 20:00 h, justo después de que empieza la precipitación, se reactiva el debris. Por tanto se puede deducir que la precipitación anterior es un factor muy importante en este tipo de cuencas.

Si se observa la lluvia acumulada y la vibración de los geófonos se puede apreciar que estos han disparado con los tramos de mayor pendiente de la curva de precipitación acumulada, es decir, con intensidades elevadas. Esto confirma que a mayor intensidad, hay más erosión y por tanto el debris se activará con más probabilidad.

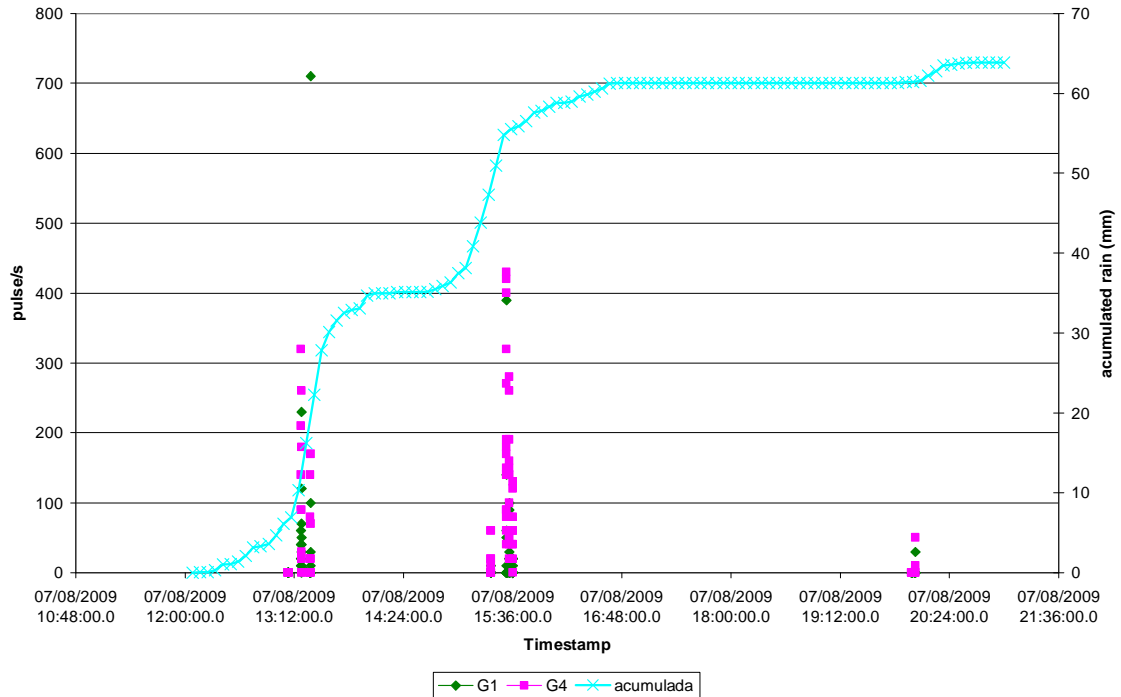


Ilustración 66: Gráfico de la evolución temporal de la lluvia acumulada y la vibración de los geófonos.

7.3.3 Posible evento en Senet del día 01/09/2009 a las 17:15 h

El evento de septiembre del 2009 en Senet que casi se ha supuesto como seguro después de analizar los gráficos se acaba de confirmar después de visualizar las vibraciones junto con la lluvia.

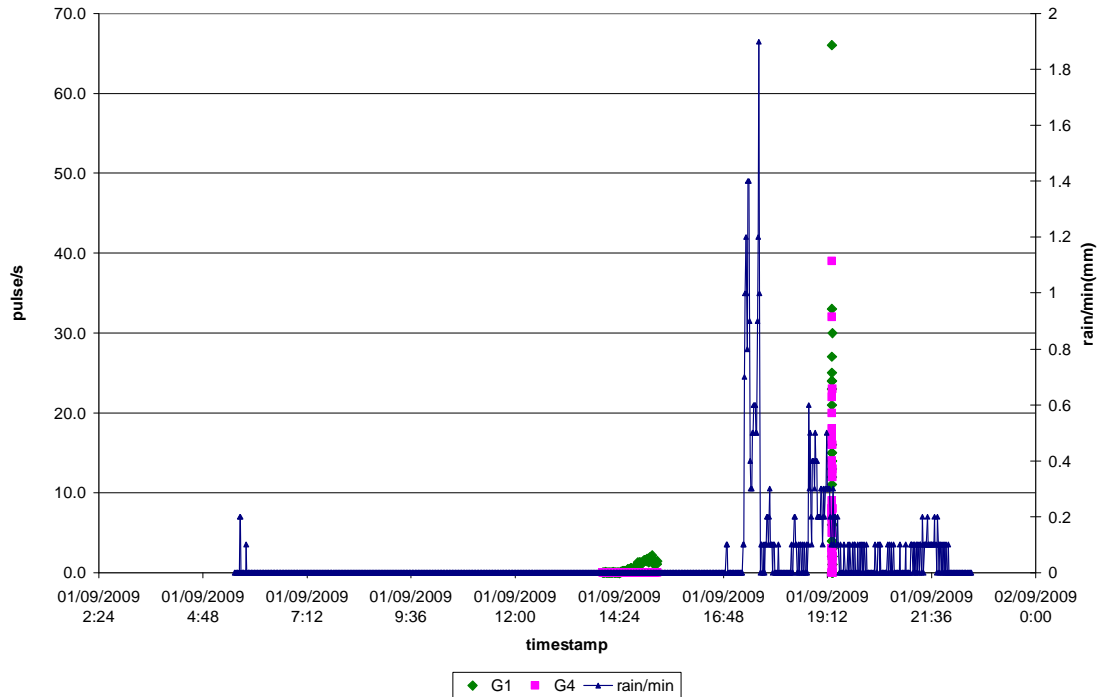


Ilustración 67: Gráfico de la evolución temporal de la lluvia y la vibración de los geófonos.

Hay unas pequeñas vibraciones desconocidas sobre las 14:00 h pero después se ve claramente una fuerte vibración después del segundo pico de intensidad máxima. En este caso sí que presenta una situación más típica ya que el debris se inicia después de haber caído casi toda la precipitación.

Veamos la lluvia acumulada frente la vibración de los geófonos. El episodio ocurre también en una zona de máxima pendiente. Se puede pensar que el primer pico de intensidad ha aportado escorrentía y ha saturado los poros del suelo, y el segundo ha sido el que ha generado el debris flow.

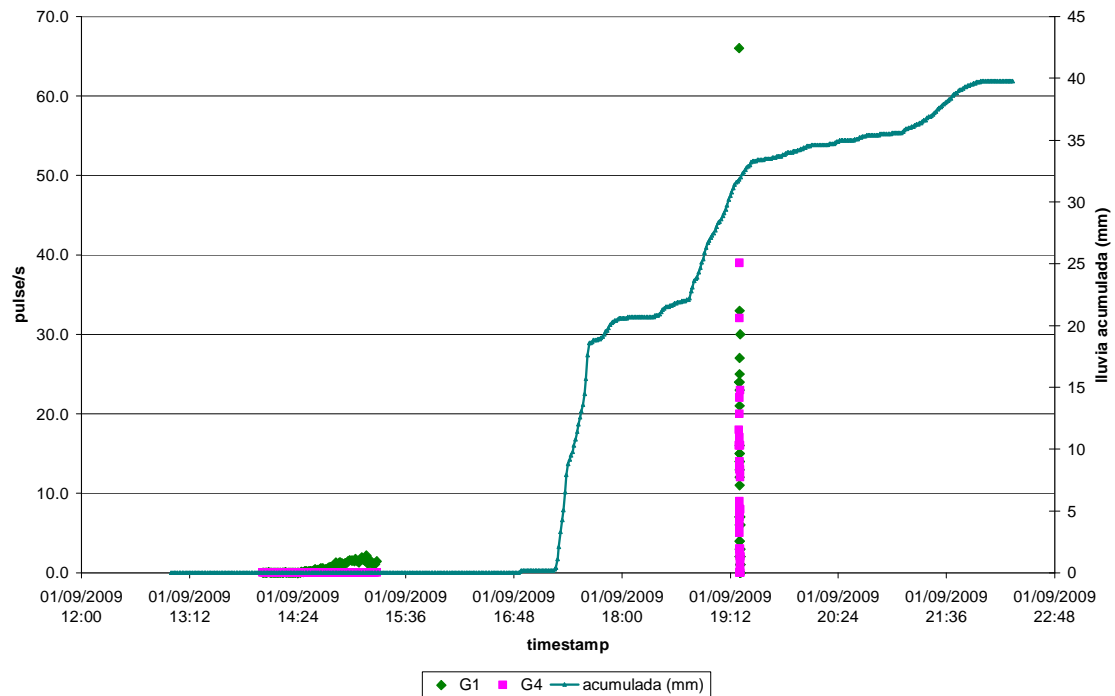


Ilustración 68: Gráfico de la evolución temporal de la lluvia acumulada y la vibración de los geófonos.

7.3.4 Posible evento del 06/08/2009 a las 23:45 h

Después del análisis gráfico de las tormentas casi podíamos descargar el debris de ésta fecha, aunque al mirar un gráfico lluvia-vibración parezca que realmente si que había sido un debris, la vibración era de unos instantes muy pequeños, seguramente había habido escorrentía superficial con la posible caída de algún bloque inestable.

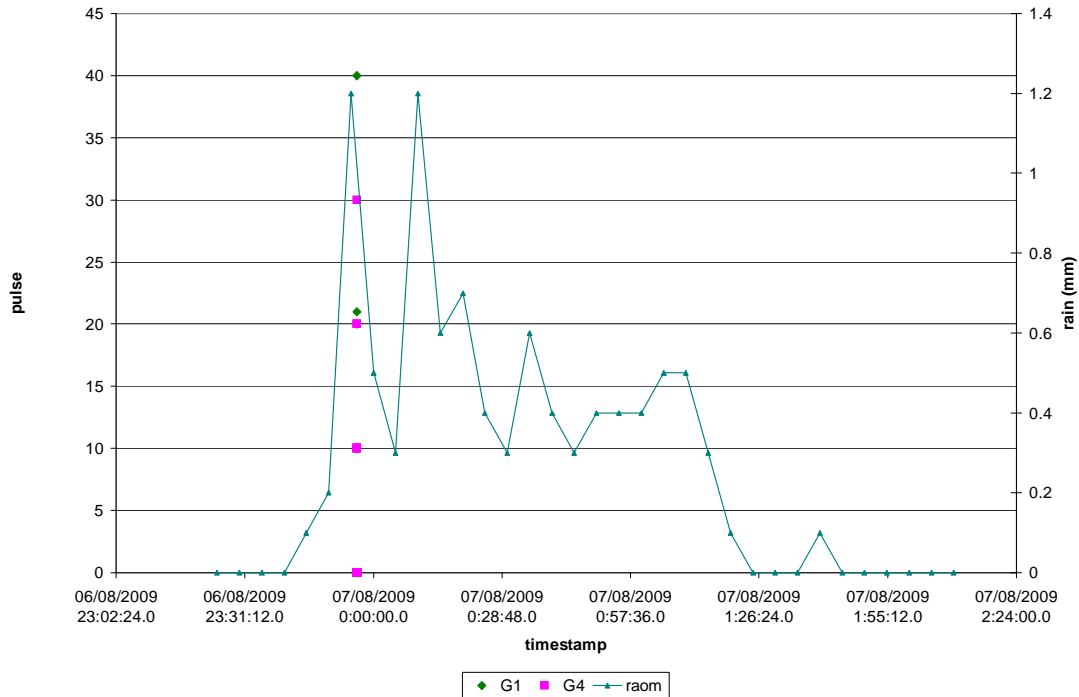


Ilustración 69: Gráfico de la evolución temporal de la lluvia y la vibración de los geófonos.

Si se observa el gráfico lluvia acumulada y vibración a simple vista podríamos pensar que sí que se trata de un debris, pero fijémonos en la escala de lluvia, el hipotético debris se produciría tan solo con 2 mm de lluvia acumulada, cuando normalmente se produce en los otros casos para mínimo un orden de magnitud 10 veces mayor.

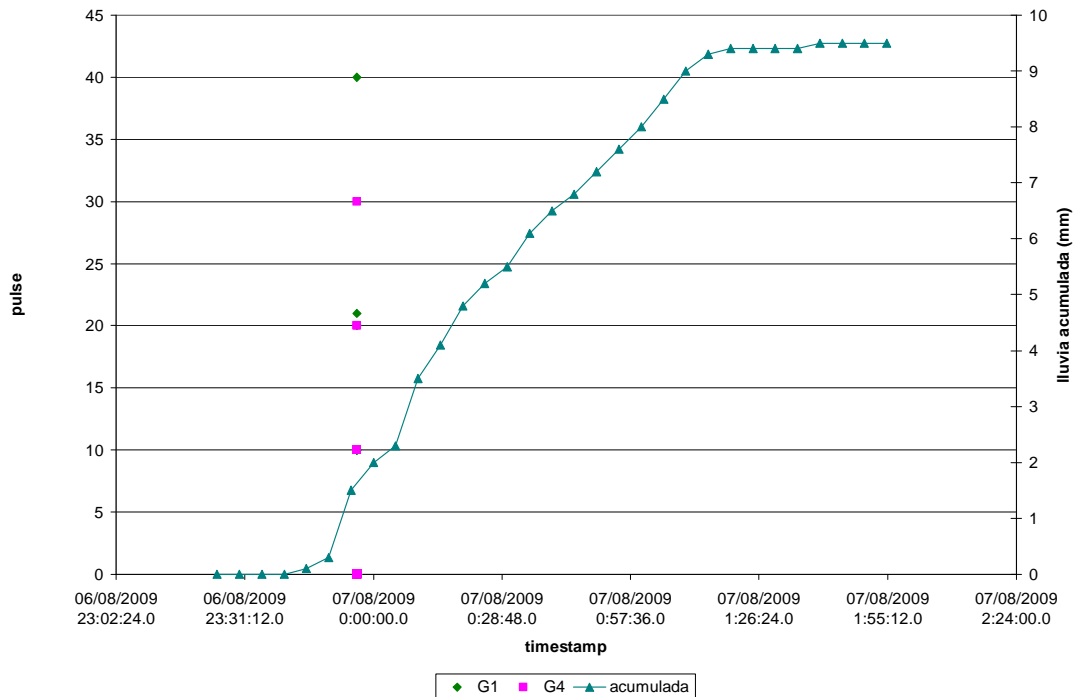


Ilustración 70: Gráfico de la evolución temporal de la lluvia acumulada y la vibración de los geófonos.

7.4 RESULTADO DE EVENTO DEBIDO AL DESHIELO

Hasta estas alturas de tesina se han analizado corrientes de derrubio producidas directamente por la lluvia. Y se ha obtenido una curva de alarma de lluvias activadoras de un debris flow. Pero las lluvias no son el único mecanismo para generar un debris. Recuérdese, que al principio de la tesina se explicaba que otra causa generadora de uno de estos eventos era el deshielo de la nieve depositada en la cuenca, que al deshacerse, la escorrentía superficial erosiona y produce la misma reacción en cadena que puede provocar una fuerte tormenta.

La primera temporada de debris de julio a diciembre acabo en ese mismo mes debido a las nevadas. Durante el invierno hubo problemas con la descarga de datos, pero sabiendo que con nieve no hay corrientes de derrubios, el equipo no le dio demasiada importancia y se decidió esperar hasta que fuese prudente realizar una salida a campo para ver que le ocurría a la instalación.

A mediados de abril se realizo una salida de campo al barranco de Senet. Se observó un cambio muy significativo en el debris, y también nos percatamos de que el ultrasonidos estaba tirado en el suelo debido, después de rechazar varias hipótesis, a que un bloque golpeó uno de los cables y lo destensó. Después de reinstalar el ultrasonido con el compensador de temperatura, comprobar las conexiones MODEM solucionando la conectividad obtuvimos los datos y con ellos el debris más claro de todos los registrados, dando pie a la posibilidad de realizar un estudio de velocidades debido a las fuertes vibraciones que ocasionó.

Obsérvese el cambio en la sección del ultrasonido con la comparación de las fotografías de octubre (izquierda) y abril (derecha). Se puede apreciar un bloque de unas 8-10 toneladas de peso (circulo rojo) que en octubre no estaba. Como referencia se observa otro gran bloque que sigue en el mismo sitio (circulo verde).



Ilustración 71: Fotografías de la sección del ultrasonidos en octubre y abril. Respectivamente izquierda y derecha.

7.4.1 Análisis de las condiciones climatológicas del evento

Temperatura

A continuación se muestra el gráfico de la evolución temporal de la temperatura en el mes de marzo del 2010. Cabe destacar que durante 12 días antes de la corriente de derrubios producida el 25 de marzo, la temperatura fue positiva, lo que provocó el deshielo durante este periodo de tiempo.

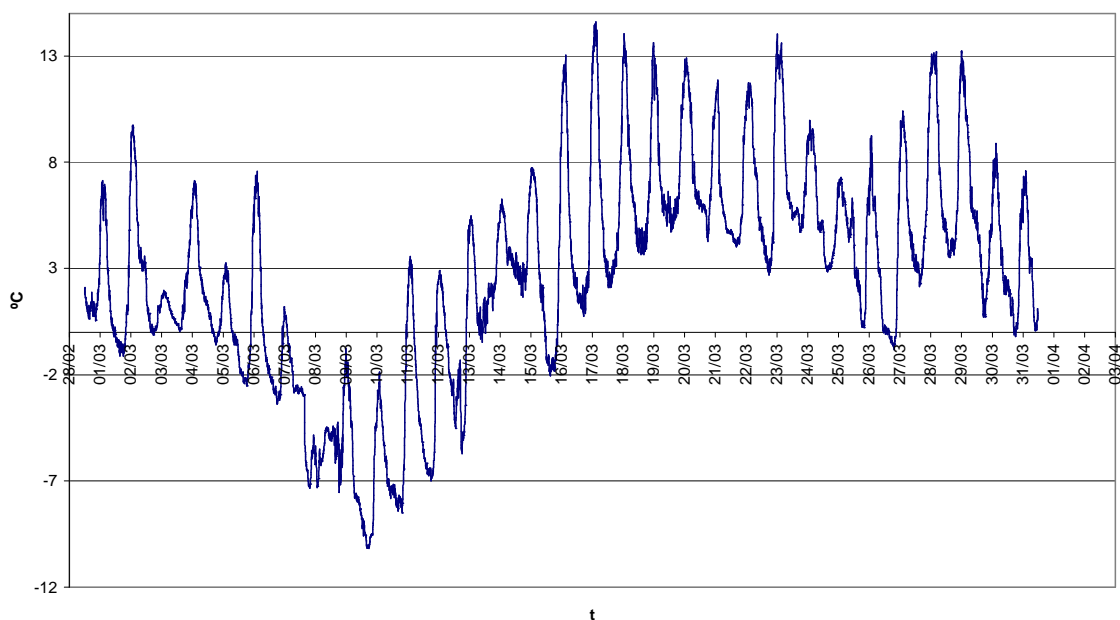


Ilustración 72: Evolución de la temperatura a lo largo del mes de marzo del 2010

El deshielo de estos 12 días antes del evento, se comporta de la misma forma que lo haría una precipitación anterior en el caso de que no hubiese habido nieve, y recuérdese que era un factor crucial en la generación de un debris flow.

Lluvias

Además del agua aportada por el deshielo debido a una temperatura positiva, hubo lluvias, que aceleraron mucho más el proceso del deshielo.

Obsérvese el gráfico de precipitaciones mensuales:

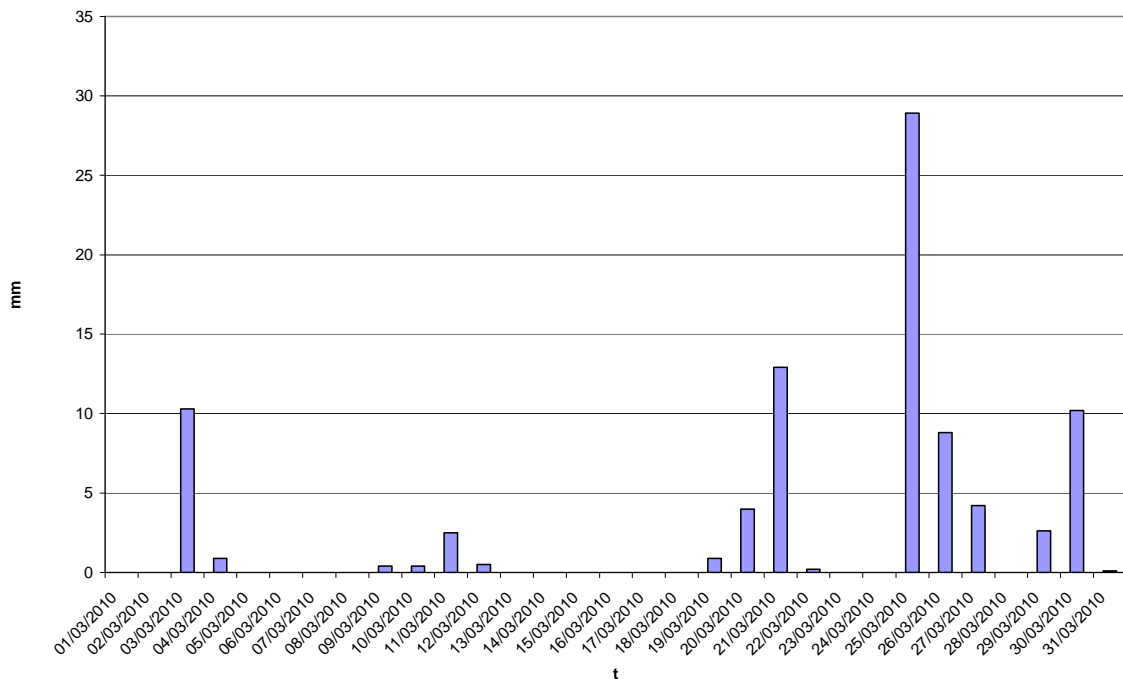


Ilustración 73: Precipitación diaria a lo largo del mes de marzo del 2010.

Evidentemente, los episodios de lluvia coinciden con intervalos temporales en los cuales la temperatura es positiva. Si la temperatura hubiese estado bajo cero, lo que precipitaría sería nieve, en lugar de agua, y esta se acumularía. No siendo desencadenante alguno de una corriente de derrubios en una inmediatez temporal próxima.

El día 25 de marzo es cuando se obtiene una mayor precipitación, concretamente de 28,9 mm. Esta moderada precipitación, que seguramente si hubiese caído en verano no hubiese desencadenado una corriente de detritos, al hacerlo en primavera con nieve acumulada en la cuenca, ha acelerado mucho el deshielo, sumándose por tanto un caudal de lluvia mas otro caudal de deshielo que han dado lugar al mayor corriente de derrubios registrado hasta estas alturas del proyecto DEBRIS-CATCH.

Precipitación desencadenante

La precipitación total de la lluvia del 25 de marzo, que fue necesaria para desencadenar el evento fue de tan solo 11,4mm. Con una intensidad máxima horaria de 18mm/h.

El histograma de lluvia previa al inicio del evento se muestra a continuación:

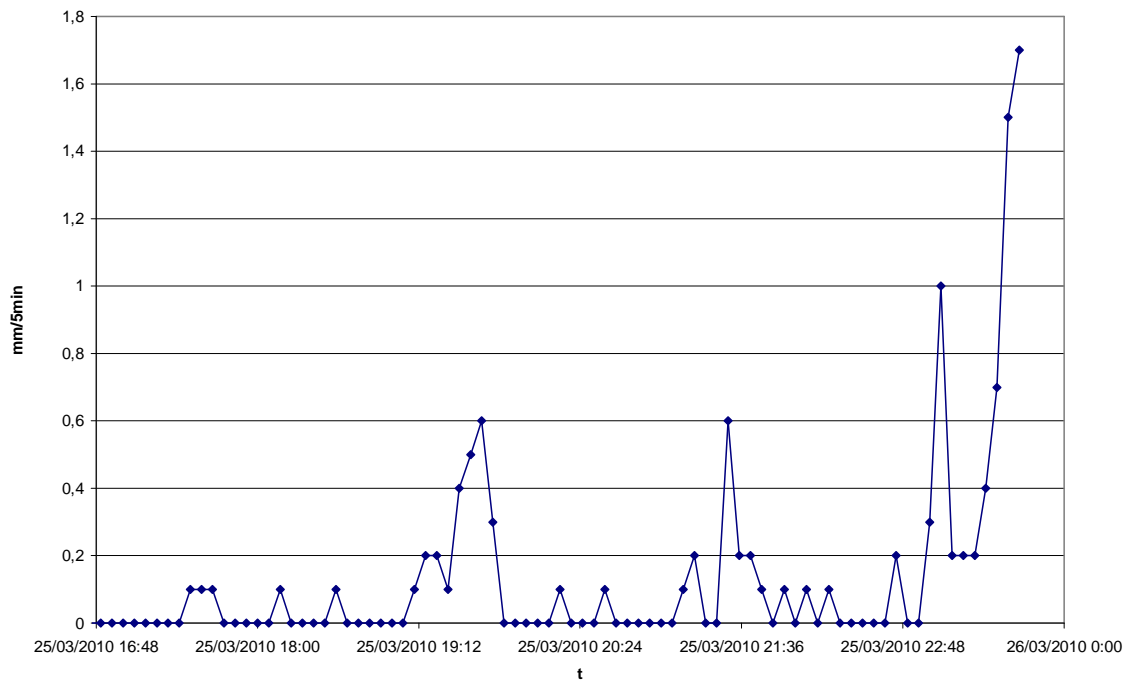


Ilustración 74: Lluvia desencadenante de la corriente de derrubios.

Si solapamos el gráfico de la tormenta total con las vibraciones de los geófonos se puede observar que se desencadenó justo con el pico de máxima intensidad de la tormenta:

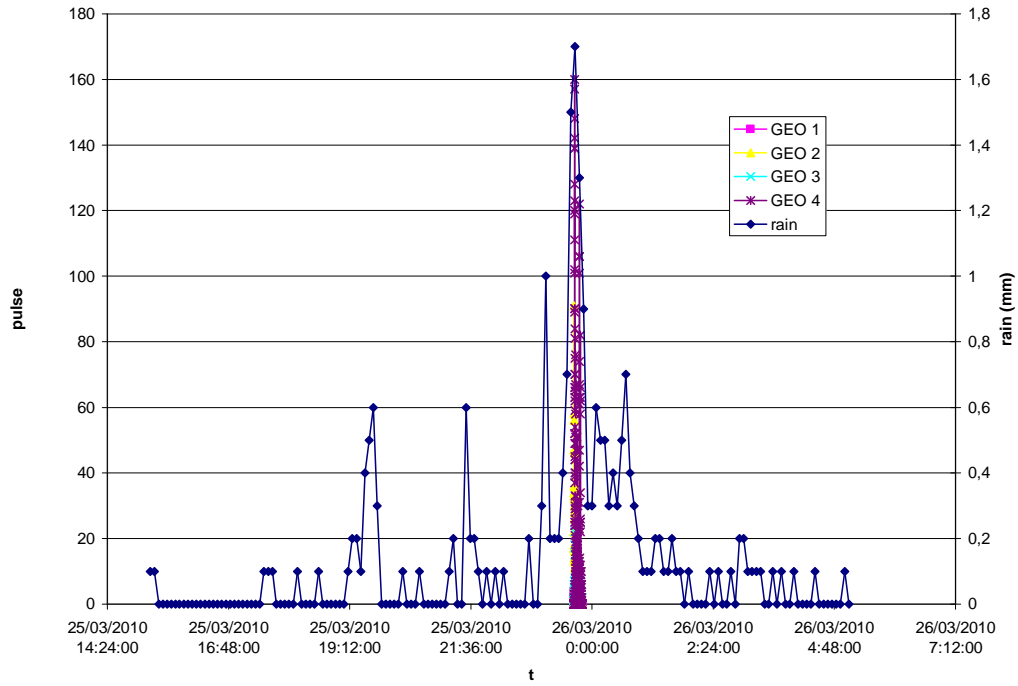


Ilustración 75: Tormenta del evento con vibración de los geófonos.

Evento del 25 de Marzo de 2010 a las 23:38 h

La vibración registrada por los geófonos fue la siguiente:

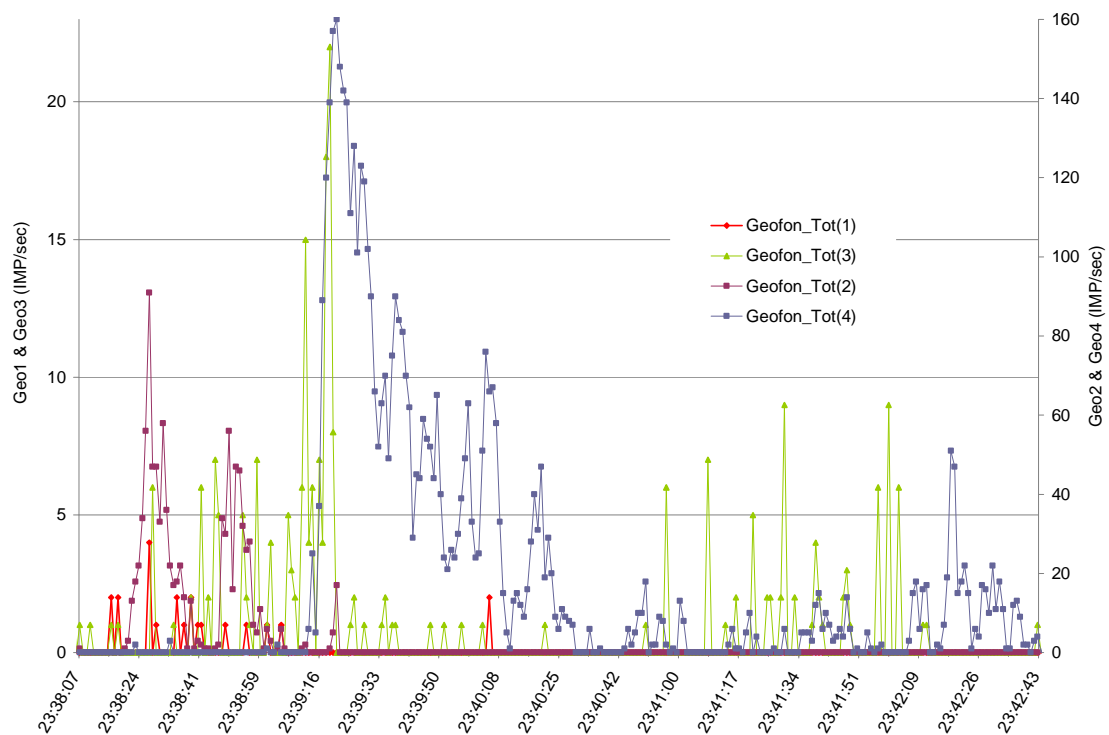


Ilustración 76: Vibración registrada por los 4 geófonos.

El geófono que más vibración notó, fue el número 4, que es el que está mas cerca del canal principal. En segundo lugar el geófono número 2, seguidamente el 3 y por último el geófono número 1, el más alejado del canal es el que menos vibración capta.

Se procede a adimensionalizar las series de pulsos dividiendo por el valor máximo de cada una de las series todos sus términos. Así se puede tener una idea del avance del frente de onda del debris flow e incluso calcular la velocidad de este.

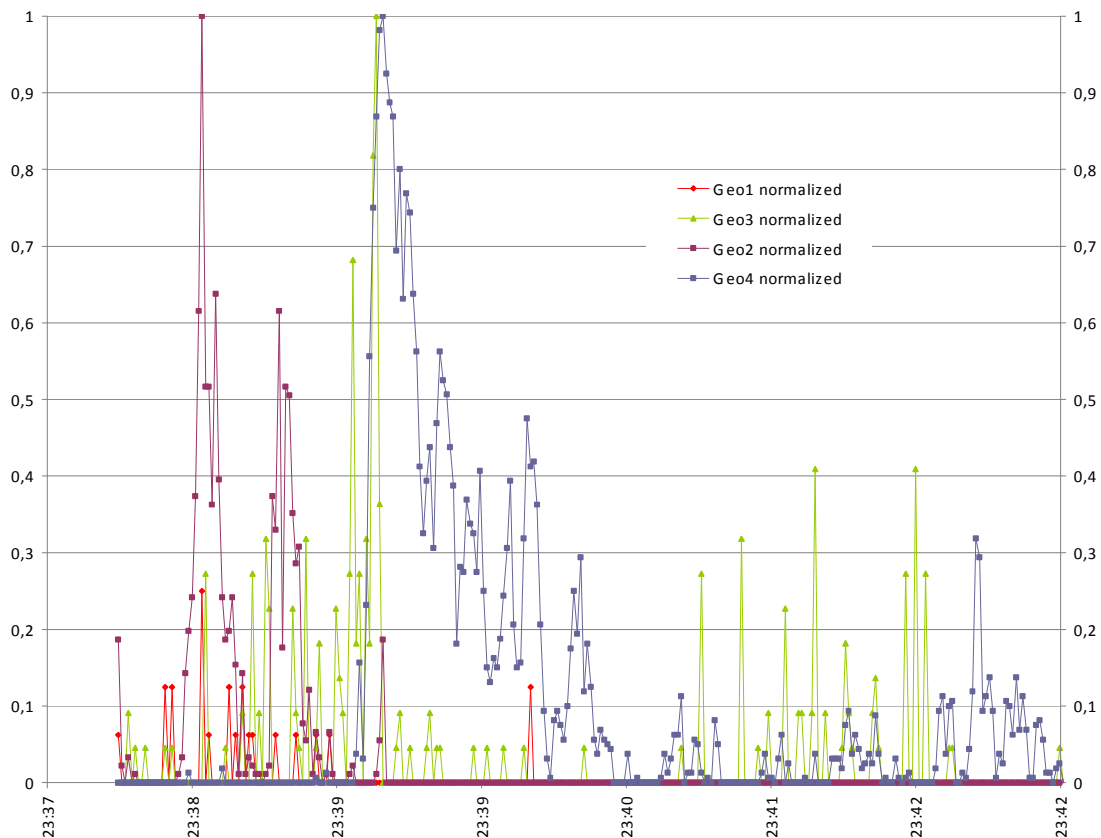


Ilustración 77: Vibración de los 4 geófonos adimensionalizada.

Nótese claramente el pico de vibración máxima captado por los geófonos número 2 y número 4, estos picos son de unos 91 y 160 pulsos. No hay que confundir con el geófono 3, cuyo pico es de 22 pulsos solamente.

Por tanto para el cálculo de la velocidad de avance del debris flor se utilizaran los geófonos número 2 y número 4, los cuales están separados unos 150m.

La separación temporal entre los dos picos es de 54 segundos, por lo que si utilizamos la formula de $v=x/t$, se obtiene una velocidad aproximada de 2,8 m/s que equivale a unos 10 Km/h. Éste resultado resulta coherente pues estamos hablando un flujo muy denso hiperconcentrado de partículas gruesas y bloques.

7.5 RESULTADO DE APLICACIÓN

Una aplicación directa de este estudio, aunque un poco optimista debido a la falta de más eventos, sería un sistema de alarma de las cuencas situadas en el pirineo oriental con emplazamiento crítico y con motivo de protección para la evacuación de personas o corte de tránsito en orden de evitar posibles accidentes.

Este sistema de alarma consistiría sencillamente en una estación meteorológica cuya función fuese detectar lluvias que superasen el umbral de intensidad y duración propuesto en la tesina y a partir de este disparase una alarma, cortase la vía de acceso o avisara a las autoridades pertinentes para prevenir cualquier tipo de accidente.

Téngase en cuenta sin embargo que este sistema sería efectivo cuando en la cuenca no hubiese nieve, pues se ha visto que una tormenta mucho más débil puede desencadenar una corriente de derrubios por efecto de fusión acelerada de la nieve depositada en la cuenca.

8. CONCLUSIONES

A lo largo del año que ha durado la tesina se ha adquirido la experiencia y se ha dejado constancia escrita con este trabajo de como realizar correctamente una instalación de monitoreo en un barranco para un posterior análisis de corrientes de derrubios y de las lluvias generadoras de estos. Así como también la manera de efectuar la calibración de los sensores usados en el monitoreo y de cómo solventar los diversos errores, fallos e imprevistos que se han cometido o han sucedido durante la fase inicial de la instalación de la instrumentación de las cuencas y que cualquier otro investigador puede experimentar.

Es cierto que estos imprevistos y fallos han perjudicado en la toma de datos del primer año del programa DEBRIS-CATCH ya que no se dispone por ejemplo de datos correctos del sensor de ultrasonidos durante la temporada de verano 2009 a primavera 2010 ni de todos los geófonos del barranco de Senet durante ciertos periodos de tiempo. Pero hay que tener en cuenta que hay muy pocos equipos de investigadores de todo el mundo que estén trabajando con esta temática y es un tema que aún le queda mucho por desarrollar. Y destacando que el presupuesto que hemos invertido en cada cuenca ronda a unos 6.500,00€ a diferencia de otros equipos de investigadores suizos cuyo presupuesto se multiplica por diez y que no se ha subcontratado ningún servicio de electrónica ni programación a otras empresas externas sino que se ha hecho todo desde la universidad se puede estar muy satisfecho que no solo en un año se haya podido aprender y adquirir la experiencia de la correcta realización de una instalación de monitoreo sino que también se ha podido hacer un análisis de corriente de derrubios a pesar de que no se disponían de todos los sensores, se ha determinado la curva intensidad-duración para un inicio de evento de un debris flow para las cuencas del Pirineo Oriental y a últimas alturas de la tesina se ha llegado a registrar un evento causado por el deshielo.

9. SUGERENCIAS E IDEAS

Para futuras instalaciones se puede optar por la utilización de otros sensores, por ejemplo sería interesante poder disponer de una cámara que empezase a grabar cuando disparara el modo evento del CR-1000, así como otros sensores, por ejemplo piezómetros para establecer la red de flujo en la zona del debris.

Otra idea que ahorraría mucho tiempo y esfuerzo es que una vez establecida toda la gestión de archivos, se diseñe un programa informático a partir del cual se automatice todo el proceso de análisis; que por ejemplo directamente se descargue los datos vía GSM de los data logger, analice las lluvias, clasifique las tormentas propensas a producir un debris, destaque eventos, etc. Éste aspecto no se ha podido realizar ya que a lo largo del primer año del proyecto han ido cambiando los nombres y forma de ordenarlos porque se estaba en fase de aprendizaje. Pero podría dar a pie a una nueva tesina.

Finalmente queda por profundizar en futuras tesinas el análisis de distintos episodios de corrientes de derrubios debidos al deshielo, pudiendo también determinarse curvas umbral de precipitación teniendo en cuenta la temperatura para épocas primaverales.

10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] MARCHI Lorenzo, ARATTANO Massimo, M. DEGANUTTI Andrea. (2001). Geomorphology. *“Ten years of debris-flow monitoring in the Moscardo Torrent”*.
- [2] Y. Itakura, H. Inaba, and T. Sawada. (2005) Natural hazard and Earth System Sciences. *“A debris-flow monitoring devices and methods bibliography”*.
- [3] HÜRLIMANN Marcel, RICKENMANN D., AND GRAF C.(2002). *“Field and monitoring data of debris-flow events in the Swiss Alps”*.
- [4] Campbell Scientific, *“OPERATOR’S MANUAL. CR-1000 Measurement and Control System”*
- [5] PEPPER+FUCHS, Instruction Manual, Service Program Ultra 2001. *“Parameterizing Software for Ultrasonic Sensor with RS 232 Interface”*.
- [6] PIA R. Tecca, GALGARO Antonio, GENEVOIS Rinaldo and DEGANUTTI M. Andrea. (2001). *“Development of a remotely controlled debris flow monitoring system in the Dolomites (Acquabona, Italy)”*
- [7] ARATTANO Massimo, MARCHI Lorenzo. (2007). *“Systems and Sensor for Debris-flow Monitoring and Warning”*.
- [8] PEREZ DE DIEGO Pedro, *“Sensores de Distancia por Ultrasonidos”*.
- [9] GUTIERREZ GALLARDO Juan Diego, ANAYA MULTIMEDIA. (2008). *“Visual Basic 2008 (Manual Imprescindible)”*.
- [10] GALGARO A., TECCA P.R., GNEVOIS R. and DEGANUTTI A.M. (2004) *“Acoustic module of the Acquabona (Italy) debris flow monitoring system”*.

- [11] U.S. GEOLOGICAL SURVEY, U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR. *“Acoustic Flow Monitoring System-User Manual”*
- [12] ARATTANO Massimo, MOIA Fabio. (2000). *“Monitoring the propagation of a debris flow along a torrent”*.
- [13] ARATTANO Massimo, MARCHI Lorenzo. (2007).. *“Systems and Sensors for Debris flow Monitoring and Warning”*.
- [14] ITAKURA Y., FUJII N. and SAWADA T.(1999). *“Basic Characteristics of Ground Vibration Sensors for the Detection of Debris Flow”*.
- [15] ARATTANO M., MARCHI L. (2004). *“Measurements of debris flow velocity through cross-correlation of instrumentation data”*.

11. AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a mi tutor de tesina, el profesor Marcel Hürlimann de la Escuela de Caminos de Barcelona, departamento de Ingeniería del Terreno, por su apoyo y ayuda durante la realización de la Tesina, así como su absoluta disponibilidad, ganas de trabajar y buen humor.

También me gustaría agradecer a la doctoranda Claudia Abancó quien me ha ayudado mucho en la calibración de los sensores y ha sido una formidable compañera en las salidas a campo.

Y por último agradecer también al profesor José Moya, cuyas ganas de enseñar me han hecho disfrutar de la Ingeniería Geológica y he aprovechado al máximo cada salida a campo acompañada cada una de ellas de sus pacientes explicaciones por cualquier curiosidad o duda de ámbito geológico. Y también destacar su destreza con la programación y la electrónica que han agilizado muchas tareas de la instalación y mantenimiento del monitoreo.

12. AUTOR DE LA TESINA

Con esto concluye la Tesina de Monitoreo y Análisis de Corrientes de Derrubios y sus Lluvias Detonantes en el Pirineo Oriental.

Firmado el autor de la tesina:

Yair Marc Martínez Palomino

